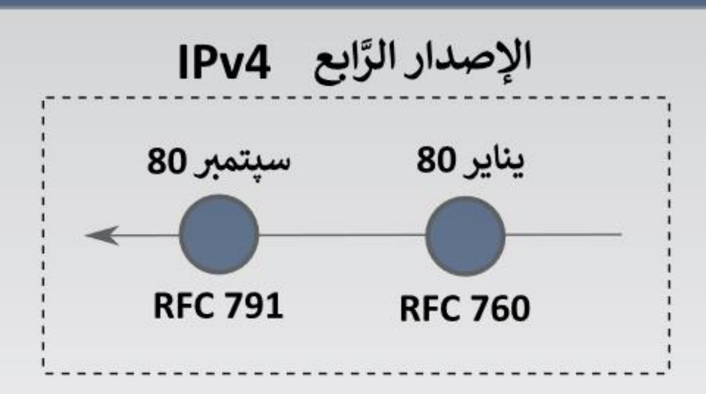


بروتوكول الإنترنت: الإصداران الرَّابع والسَّادس

الإصدار الرَّابع IPv4



الإصدار السَّادس IPv6





د. ميشيل بكني

2022

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب

بِرُوتُوكُول الإِنترنِت:

الإِصداران الرَّابِع والسَّادِس

د. ميشيل بكني

مُدرِّس هندسة الإلكترونيَّات وتقانة المَعلُومات في المدرسة العُليا لِلتِّقانات الصِّناعيَّة المُتقدِّمة (إِستيا)

2022

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب

Book Title: Internet Protocol: IPv4 & IPv6		اسم الكِتاب: برُوتُوكُول الإنترنِت: الإصداران الرَّابِع والسَّادِس
Author: Michel Bakni		المُؤَلِّف: ميشيل بكني
ISNI:	0000 0005 0354 6620	مُعرِّف الاسم القِياسيُّ الدَّولِيِّ:
Editor: Sandra Hanbo		المُحرِّر: ساندرا هانبو
Cover design: Zeina Khoury		تصميم الغِلاف: زينة خوري
Publication year:	2022	سَنة النَّشر:
Edition:	1	رَقم الإصدار:
ISBN:	978-2-9576887-1-5	النِّظام القِياسي الدَّولي لِترقيم الكُتب:
DOI:	m9.figshare.19326086/10.6084	مُعرِّف الغرض الرَّقميّ:

This book was printed at the ICN Press		طُبع هذا الكتاب في مَطبَعة إيسن
ZI des Saligues, 64300 Orthez, France		منطقة ساليغوس الصناعية، 64300 أورتيز، فرنسة
Telephone number:	0033 5 59 69 77 80	رقم الهاتِف:
Email address:	icn@imprimerie-icn.fr	البريد الإلكترونيُّ:



Copyright notice

The author publishes this work under Creative Commons Attribution International (CC BY 4.0)

You are free to:

- **Share** — copy and redistribute the material in any medium or format
- **Adapt** — remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially.

This license is acceptable for Free Cultural Works.

The licensor cannot revoke these freedoms as long as you follow the license terms:

- **Attribution** — You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use.
- **No additional restrictions** — You may not apply legal terms or technological measures that legally restrict others from doing anything the license permits.

Read the text of the full license Creative Commons Attribution 4.0 International on the following link:

إشعار حُقُوق التَّأليف والنَّشر

يَنشُر المُؤَلِّف هذا العمل وَفقاً لِرُخصة المَشاع الإبداعيِّ الدَّوليَّة المُلزِمة بنَسب العمل إلى مُؤَلِّفه (CC BY 4.0).

لك مُطلَق الحرِّيَّة في:

- **المُشاركة** — نسخ وتوزيع ونقل العمل لِأيِّ وسطٍ أو شكلٍ.
- **التَّعديل** — المَزج والتَّحويل والإضافة على العمل. لِأيِّ غرضٍ، بما في ذلك الأغراض التِّجاريَّة.

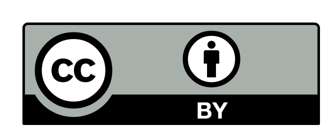
هذه الرُّخصة مُتوافِقةٌ مع أعمال الثَّقافة الحُرَّة.

لا يُمكِن لِلمُرخِّص إلغاء هذه الصَّلاحيَّات طالما اتُّبِعت شروط الرُّخصة:

- **نَسب المُصنَّف** - عليكَ نَسب العمل لِصاحبه نَسباً مُناسِباً، وتوفير رابطٍ لِلترخيص، وبيان فيما إذا أُجريت أيَّ تعديلاتٍ على العمل. يمكنك فِعل هذا بأيِّ طريقةٍ مُناسِبةٍ، على ألا يَحصُل ذلك بأسلوبٍ يُوحِي بأنَّ المُؤَلِّف أو صاحِب الرُّخصة مُؤَيِّدٌ لك أو لِعملك.
- **منع القيُود الإضافيَّة** - عليك ألَّا تُطبِّق أيَّ شروطٍ قانونيَّةٍ أو تدابيرَ تقنيةٍ تُقيِّد الآخرين مِن مُمارسة الصَّلاحيات الَّتي تَسمَح بها الرُّخصة.

اقرَأ النَّصَّ الكامِل لِرخصة المَشاع الإبداعيِّ 4.0 عبر الرَّابِط الآتي:

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode





The font used in this document is Calibri. It is a copyrighted property for Microsoft.

The font is embedded from a Microsoft word 365 application that is not for home, student, or noncommercial use.

Application license ID:

الخطُّ المُستعمَل في كِتابة هذا المُستنَد هو Calibri، وهُو مِلكيَّةٌ مُحتكَرةٌ لِشركة مَايكرُوسُوفت، ومَحمِيٌّ بحُقوق التَّأليف والنَّشر.

ضُمِّن هذا الخطُّ في مُستنَد باستعمال نُسخةٍ مِن تطبيق مَايكرُوسُوفت وُورد 365 غير مُخصَّصةٍ لِلاستعمال المَنزِليِّ أو الطُّلَّابيِّ أو لِلاستعمالات غير التِّجاريَّة.

مُعرِّف رُخصة التَّطبيق:

EWW_15cd13b2-4549-42f8-9d2f-00d8bd8e0e9f_ca421d4c3fbc11eecd

The illustrations used in this book are created by the author. They are all licensed under CC BY-SA Version 4.0

More information about the License can be found in appendix VII.

الصُّور المُستعمَلة في هذا الكِتاب مِن إعداد المُؤَلِّف وهي كُلُّها مُرخَّصة برُخصة المَشاع الإبداعيِّ الدَّوليَّة المُلزِمة بنَسب العمل إلى مُؤَلِّفه وبترخيص المُشتقَّات بالمثل 4.0

لِلمزيد مِن المَعلُومات حول رُخصة الصُّور رَاجِع المُلحَق ز.

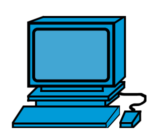
فهرس الكِتاب المُختصَر

فهرس الكِتاب المُفصَّل

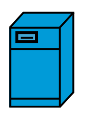
فهرس الأشكال

فهرس الجداول

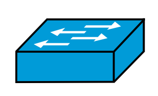
الأَيقونات المُستعمَلة في الكِتاب[1]



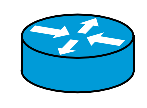
حاسُوب



مُخدِّم



مُبدِّل



مُوجِّه

شَبكَة بَيانات

وَصلَة تسلسليَّة

[1] اعتمدنا مِعيار شركة سِيسكُو في رِسم الأَيقونات في أَشكال الكِتاب، انظره في [STD11] في ثَبت المَراجِع.

مُقدِّمة الكِتاب

الحمد لله الَّذي لا يُحيط به وصف اللِّسان، ويَعجَز عن حصره كُلُّ ما وَضَع الإنسان، يُؤتِي مَن يَشاء نُور العِلم والعِرفان، ويَرفَع بهم عن النَّاس ظلام الجهل والطُّغيان، هُو المُعزُّ المَنان والرَّافِع المُستعان.

أمَّا بعدُ،

بَدَأ تطوير شَبكات البيانات في النِّصف الثَّانِي مِن ستينيَّات القرن العشرين في مَواقِعَ مُتعدِّدةٍ مِن الولايات المُتَّحِدة الأَمريكيَّة، ولَحِقت بها بضعةٍ مِن المَواقِع في أُورُوبا في مَطلَع السَّبعينيَّات. ولمَّا كان لِكُلِّ مَوقِعٍ فريقٌ يَعمَل عَملاً مُستقلَّاً عن سائِر المَواقِع ويُشارِك نتائِجه معهم، فإنَّ هذه الشَّبكات نَحَت مَنحَىً مُشتركاً في تطوُّرها، ولكنَّها اختلفت في بِناها اختلافاً بيِّناً، لِذا كان الوصل بينها مُعقَّداً، وظَهرَت الحاجة جَليَّةً لِبرُوتُوكُولٍ مُشترَكٍ في ما بينها لِتشبيكها بعضِها مع بعضٍ لإنشاء شَبكةٍ جامِعةٍ واحِدةٍ هي الإنترنِت، والَّتي يَعنِي اسمها حرفيَّاً الشَّبكات المُتشابِكة.[2]

ولم يَنتصِف عقد السَّبعيِّنيات قبل أن يَنتظِم وصف المُشكِلة السَّابِقة، ولِتَتَضِح بذلك الوظائِف الَّتي يُراد مِن برُوتُوكُول التَّشبيك أَداؤُها، ووُضِعت أَيضاً المَبادِئ اللَّازِمة لِذلك وصُيغت المُصطلَحات الَّتي تَخدُم المُطوِّرين وعُرِّفت تعريفاً دقيقاً، ولكنَّ الإصدار المُستقِرَّ مِن البرُوتُوكُول تأَخَّر حتَّى العام 1981م عندما طُرِح مِعيار الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

وبعد أن أَصبحت الإنترنِت مَشاعاً لِلنَّاس كُلِّهم في نهاية الثَّمانينيَّات، حَصَلت نكسةٌ لم تَكُن بالحُسبان، فقد تسارع استهلاك فضاء عناوين البرُوتُوكُول تسارُعاً أُسِّيَّاً، ولم تمضِ إلا بضعة سنونٍ حتَّى أَوشكت العناوين على النَّفاد. والواقِع أَنَّ الإنترنِت لم تُطوَّر أَساساً لِلاستعمال التِّجارِيِّ الكثيف، بل كانت مَشرُوعاً بحثيَّاً يُراد به الرَّبط بين مَراكِز صناعة القرار في خِضمِّ الحرب البارِدة، خاصَّةً لو وَقَع هُجُومٌ نَوويٌّ، وهذه المَراكِز مَحدُودة العَدَد، لِذلك اختار مُصمِّمو البرُوتُوكُول طُول العُنوان لِيَكُون 32 بِتاً، وجَعل هذا القرار فضاء البرُوتُوكُول مَحدُوداً قابِلاً للاستنفاد.

ولم يَكُن الانتقال إلى استعمال الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مُباشَراً، وهُو الحلُّ الَّذي طُوِّر لِمُعالَجة مُشكِلة الاستنفاد سالِفة الذِّكر عِلاجاً نِهائِيَّاً، لكنَّه مرَّ، ولا يَزال، عبر مرحلةٍ وسيطةٍ طَالت أَكثرَ مِن عقدين مِن الزَّمن. فقد طَوَّرت مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت ما اعتقدت أَنَّه حُلُولٌ قصيرة الأَمد هَدَفت مِنها إلى تَأخير الاستنفاد النِّهائِيِّ لِلإصدار الرَّابِع، وكَسِب بضعةٍ مِن السَّنوات لِحين تطوير الإصدار السَّادِس وتجربته والتَّحقُّق مِن كَونِه مُستقِرَّاً. ولكنَّ هذه الحُلُول بَلَغت مِن الفعَّاليَّة الغاية فأَطالت عُمُر الإصدار الرَّابِع مِن مُنتصَف تسعينيَّات القرن العشرين حتَّى لحظة كِتابة هذه الكلمات، وإن كانت النِّهاية قد أَزِفت، لِتَكُون أَمراً مَقضيَّاً لا مَفرَّ مِنه.

وبهذا يَكُون برُوتُوكُول الإنترنِت بإِصداريه الرَّابِع والسَّادِس قد عَاصَر الإنترنِت مُنذ نشأتها، وكان بحقٍ عِمادها والأَساس الَّذي قَامت عليه، لِذلك يَكتسِب فهم عمله ومُلحَقاته ومَعرِفة تاريخه أَهمِّيَّةً خاصَّةً وهذه مَسأَلةٌ لازِمة لِكُلِّ مَن يَعمَل في مَجال عُلُوم الحاسُوب عامَّةً، وشَبكات البيانات خاصَّةً. وليس في المَكتبَة العربيَّة مُؤَلَّفٌ أُفرِد له، فارتأينا أَن نَتصدَّى لِهذه المَسألة،

[2] أَصل الاسم Interconnected networks، وتُختصَر بأخذ الحُرُوف الثَّلاثَة الأُولَى مِن كُلِّ كَلِمةٍ وضمِّها معاً لِتُصبح Internet.

مَدفُوعين بالحماسة لِمَلء هذه الثَّغرة، وسدِّ هذا النَّقص، تَدفَعنا غِيرتنا على العربيَّة ورَغبتنا في إثراء مُصطَلحاتها في هذا المَجال الَّذي لا يَبدُو أنَّه طُرِق في ما سَبق وَفقاً لِمَنهَج بحثٍ صارمٍ قويمٍ.

وجَعلنا برُوتُوكُول الإنترنِت مَوضُوعاً لِهذا الكِتاب، لِتحقيق ما سَبق، فأَصبَح مادةً لِثالِث مُؤَلَّفٍ نَضَعه في مَجالات العُلُوم التَّطبيقيَّة. وها نحن نَستفتِحه، بعد الحمد والثَّناء، بمُقدِّمةٍ مُطوَّلةٍ تُشكِّل جُزءاً لا يَتجزَّأ مِن الكِتاب، وهي ضرُوريةٌ لِفهم مَنهَج البحث وآليَّة التَّعريب ولِقراءة الأَسماء الرَّمزيَّة لِلمَراجِع قراءَةً سليمةً، وقد رتَّبنا أفكارها في سَبعة أَقسامٍ هي:

- تأليف الكِتاب
- هدفه
- بِنيته
- المَصادِر
- مَنهَج التَّعريب
- شكرٌ وعِرفان

تأليف الكتاب

لا نُبالِغ إذا قِلنا أنَّ إعداد هذا الكتاب قد استغرقنا ما يَزيد عن نصف عَقدٍ مِن الزَّمن تخلَّلها أكثرُ مِن انقطاعٍ وتَوقُّفٍ. فقد وَضعنا لَبِنَاته الأُوَل في عام 2014م، وحَصَلنا حينها على نسخةٍ ورقيَّةٍ مِن مِعيار الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ومِن مِعيار الإصدار السَّادِس كذلك،[3] فنقلناهُما بأمانةٍ إلى العربيَّة، ونَتَج عن هذا العمل ما سيُصبِح الفصلين الثَّالِث والعاشِر مِن هذا الكِتاب ومَسرَد مُصطلَحاتٍ طويلٍ يَضمُّ مِئات الكلِمات الأَعجميَّة ومُقابِلاتِها العربيَّة.

ثُمَّ وَضعنا كُتيِّب أُصول تجزِئة الشَّبكة بعد عامين وكان ثمرة تدريسنا لِمُقرَّر شبكات الحاسِب لِسنواتٍ في سُوريَّة، وهُو عِماد الفصل الرَّابِع مِن هذا الكِتاب. وانقطعنا بعدها عن التَّأليف لِداعي السَّفر والاغتراب طَلباً لِلعِلم، ولم نَعُد لِلكِتاب حتَّى العام 2018م، وكَتبنا حينها الباب الأَوَّل كُلَّه والفصل الخامِس ومَوضُوعه البثِّ المَجمُوعاتِّي، ثُمَّ تَوقَّفنا مُجدَّداً لِانشغالنا بإعداد أُطروحة درجة الفلسفة في الهندسة الإلكترونيَّة، وعَمِلنا في هذه الفترة أَيضاً على إنجاز كِتاب التَّرانزستور ثُنائِيِّ القُطب[4] الَّذي صَدَر في عام 2019م، وأُهمِل التَّأليف في هذا الكِتاب حتَّى كاد يُنسَى.

ثُمَّ جاءَت جائِحة فيروس كُورُونا في عام 2020م، فحُجِرنا حَجراً صِحيَّاً شديداً في فرنسة، وتفرَّغنا فيه لِلكِتابة وأَنجزنا الباب الثَّالِث مِن الكِتاب كُلِّه، ثُمَّ انقطعنا مُجدَّداً لِلتحضير لِلدفاع عن الأُطروحة سابِقة الذِّكر، فلم نُنهِ كِتابة المُحتوَى إلَّا بعد أَن انقضَى العام 2021م كُلُّه، وكان التَّمام حين وضعنا الفصلين الأَخيرين مِن الكِتاب في أَواخر شهر دِيسمبَر، ثُمَّ عملنا على تنضيده وجمع فُصُوله معاً، فخَرَج الشَّكل النِّهائِي لِلكِتاب في شهر مارس مِن العام 2022م.

[3] نُشير إلى أنَّنا عملنا على أَحدِث مِعيارٍ لِلإصدار السَّادِس حينها، وهُو وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 2460 الصَّادِرة في دِيسمبَر من العام 1998م، ولكن هذا المِعيار أُبطِل لاحِقاً في العام 2017م، عندما صَدَرت، في شهر يُولُيو، الوثيقة RFC 8200، فأَصبَحت مِعيار البرُوتُوكُول الأَحدث، وكان لِزاماً علينا تحديث التَّرجمة الَّتي أَنتجناها سابِقاً لِتَشمُل ما وَرد في المِعيار الجديد.

[4] اسم الكِتاب هُو "التَّرانزستور ثُنائِيِّ القُطب: القواعِد والفوائِد"، ISBN: 9782957688708.

ونُشير أَيضاً إِلى أَنَّنا نَشرنا أَجزاءً وافِرةً مِن هذا الكِتاب في النُّسخة العربيَّة مِن مَوسُوعة وِيكيبيديا بين العامِين 2018 و2021م ولا يَتعارَض هذا مع رُخصة الكِتاب، وهي رُخصة المَشاع الإِبداعيّ الدَّوليَّة المُلزِمة بنَسب العمل إِلى مُؤَلِّفه[5]، وبذلك يَكُون هذا العمل، كما أَردناه، لِوجه الله تعالَى صَدقةً جاريةً وعِلماً يُنتَفَع به.

هدف الكِتاب

إِذا كان هدف هذا الكِتاب المُباشَر هُو تناول برُوتُوكُول الإِنترنِت وإِصداراته ومُلحقاتِه، فإِنَّ لإِعداده أَهدافاً أَربعةً غير مُباشِرةٍ، أَوَّلها إِغناء المَكتبة العربيَّة بمُؤَلَّفٍ نادِرٍ في هذا الشَّأن، وثانِيها تقديم أُنموذجٍ عامٍّ لِلوضع والتَّأليف في العُلُوم التَّطبيقيَّة، عسَى أَن يَتبعه الهُداة ويَسيرُوا على دربه، وثالِثها إِعداد مَسردٍ حديثٍ بالمُصطلَحات التِّقنيَّة ذات الصِّلة لما في ذلك مِن أَهمِّيَّةٍ قُصوَى لِلباحِثين والدَّارسين في هذا المَجال، ورابِعها الرَّدُّ على القائِلين باستحالة الوضع والتَّأليف بالعربيَّة.

وكنَّا قد نَظرنا إِلى المَكتبة العربيَّة، فوجدناها فقيرةً فَقراً مُروِّعاً في هذا المَجال وبائِسةً بُؤسَاً شديداً، ولم نَعثُر إِلا على كُتبٍ جامعيَّةٍ مِن سُورية، بعضُها قديمٌ عَفا عليه الزَّمن، وبعضُها سيُّء الجُودة لا يُؤتَمن جانِبه ولا يُؤخَذ به، وبعضُها يَضمُّ مُصطلَحاتٍ غريبةً لم نَألفها ولم نَعثُر لها على مثيلٍ في أَيٍّ مِن المُعجَمات الَّتي بين أَيدينا. وعَثرنا أَيضاً على كَمّيَّةٍ لا بَأس بها مِن الملفَّات الرَّقميَّة والمُنشورات الذَّاتيَّة في هذا المَجال على الإِنترنِت، ولكنَّها بالإِجمال تَفتقِر إِلى الاتساق والمَنهجيَّة، وفيها فوضَىً عارِمةٌ في الاصطلاح والمعنَى، فلم يَطمئِن قلبُنا لِأَيٍّ مِنها، ورَأينا ضرورة وضع مُؤَلَّفٍ جامِعٍ مانِعٍ.

ولمَا كُنَّا نعمل في المَجال الجامِعيِّ في فرنسة، وهي مَضرَب المَثل في حُسن ضبط العمل وتنظيمه، وهذه مِيزةٌ نَفتقِرها في العالَم العربيِّ، فقد أَفدنا إِفادةً كبيرةً مِن احتكاكنا بالخبراء والمُختصِّين فيها، واكتسبنا مَهاراتٍ في ترتيب الأَفكار وتنضيد الأَعمال لم تَكُن مُتاحةً لنا في ما سَبق، ولمَّا نَرتَوي بعدُ من كُلِّ هذا. ولمَّا كانت الأَعمال المَوضُوعة بالعربيَّة في هذا المَجال ضعيفة الجُودة عامَّةً، ارتأينا أَن نَضَع هذا الكِتاب وَضعاً مَرجِعيَّاً مِعياريَّاً فعَنَينا بترتيبه عنايةً فائِقةً وقصدُنا مِن ذلك أَن نُقدِّم أُنموذجاً في الوَضع والتَّأليف عسَى أَن يُحتذَى ويُقلَّد.

وإِذا ما أَضفنا الاستسلام لِلكلِمات الأَعجميَّة وعدم الإِلمام الكافِي بالعربيَّة إِلى غياب حُسن التَّنظيم، أَلِفنا أَنفسنا في فوضَى المُصطلَحات الَّتي تَعمُّ العالَم العربيَّ كافةً، وهُو داءٌ يُعيق الوَضع والتَّأليف بالعربيَّة. وقد عَنينا بمَنهَج التَّعريب عنايةً خاصَّةً لِمُعالَجة هذه المُشكِلة وشَرحناه شَرحاً مُفصَّلاً في ما سيَأتي واِهتمَّمنا اهتماماً فائِقاً بترتيب المُصطلَحات في مَسرَدٍ خاصٍّ في نِهاية الكِتاب لِيَسهُل اعتمادها وتداولها والرُّجوع إِليها عند الحاجة وهذا جُلُّ ما نَرنُو إِليه ونَبتغِيه.

وأَمَّا الادعاءَات القائِلة باستحالة الوَضع والتَّأليف في العُلُوم الحديثة بالعربيَّة، فهي باطِلةٌ مَردُودٌ عليها، ولا تَصدُر إِلا عن جهالةٍ بماهية اللُّغة وركائِز اللِّسانيات، فهي، أَي اللُّغة، أداةٌ لِلتَّواصُل، ومهمتها الرَّئيسة إِيصال الفكرة وتوضيح المَعنَى، فما بالك لو كانت هذه اللُّغة هي العربيَّة، وهي الَّتي كانت لِقرونٍ طويلةٍ لُغة العِلم والأَدب، وسَادت في العالَم أَغلبِه،[6] فلمَ لا تَتَبوَّأ

[5] اختصاراً CC BY 4.0، لِلوُصُول إِلى نصِّ الرُّخصة كامِلةً راجِع صفحة مَعلُومات الكِتاب قبل هذه المُقدِّمة.

[6] انظر الفصل السَّابع، المُعنوَن: "سِلاح المَعرِفة"، مِن كِتاب "شمس العرب تَسطُع على الغرب" مِن تَأليف زِيغرِيد هُونكِه (بالأَلمانيَّة: Sigrid Hunke)، وقد وَقعنا على الطَّبعة الثَّامِنة مِنه الصَّادِرة في عام 1993م عن دار الجيل ودار الأُفق الجديد وكلاهُما في بيروت، وهي مِن تعريب فارُوق بيضون وكمال الدُّسوقِيّ. وانظر أَيضاً الفصل السَّابِع، "المُعنَون "الأَدب"، في الجزء الثَّانِي مِن كِتاب "تراث الإِسلام، وهو من تَأليف جُوزِيف شَاخت←

هذا المَوقِع السَّامِي مرَّةً أُخرَى؟ أَليست اليوم إحدى لُغات الأُمم المُتَّحِدة الرَّسميَّة السِّتة؟ أَليست أَداةً لِلتَّواصِل في أَكثر مِن عشرين دولةً حول العالَم؟ أَلا يُتقِنها كُلِّياً أَو جُزئيَّاً أَكثرُ مِن مليار نسمةٍ؟ فما المانِع مِن الوَضع والتَّأليف بالعربيَّة؟ ونحن نَقُول لا مانِعَ مِن ذلك، والمَطلُوب لإنجازه يَسيرٌ، وهُو كما تَقدَّم تنظيم العمل وترتيب جداول الاصطلاح مع توافر الإلمام بالعربيَّة وعُلُومها، ومَتى ما اجتمعت هذه، لم يَبقَ إلا نيَّة العمل والاجتهاد في سبيله.

بِنية الكِتاب

اخترنا أَن نَسرِد قِصَّة هذا البرُوتُوكُول سرداً زمانيَّاً، فركزنا على تَوثِيق الجانِب التَّارِيخي ما استطعنا إِلى ذلك سبيلاً، ونحن نَرى أَنَّ لِهذا أَهمِّيَّة قُصوَى في ظِلِّ تسارع التَّطور التِّقنيِّ. فبدَأنا، بعد مَدخَلٍ مُختصَرٍ، بالإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ثُمَّ ناقشنا مُشكِلة استنفاد فضائِه الَّتي قادَت إلى تطوير الإصدار السَّادِس مِن البرُوتُوكُول.

ومع أَنَّنا رَكَّزنا على الجانِب التاريخيِّ تركيزاً شديداً، إلا أَنَّنا استرسلنا أَيضاً في طرح الجانِب التِّقنيِّ وفصَّلنا في شرح الآليَّات وخوارزميَّات العمل. والغالِب في نوع المُؤَلَّفات المُشابِه لِعملنا أَن تَكُون سرديَّةً تَتناول الجانِب التَّارِيخيَّ وحدَه، فلا تَمسُّ التَّفاصِيل التِّقنيَّة لِلمَسألة المَدرُوسة ولا دقائِقَ أُمورِها. وقليلٌ آخرُ مِن المُؤَلَّفات يَتناوَل المادة التِّقنيَّة، ولكنَّه يَكُون تناولاً جافَّاً لا يَستسِيغه حتَّى المُختصُّون. ونَأمل أَلا نَكُون قد وقعنا في أَيٍّ مِن المَحظُورَين، بل أَن نَكُون قد وُفِّقنا في جعل فُصُول الكِتاب مُتوازنةً تَشمُل مُتعة السَّرد مع دِقة التَّفصيل.

ويَقع كِتابنا هذا في أَربعة أَبوابٍ تَضمُّ اثني عَشر فصلاً:

- وأَمَّا الباب الأَول، فهُو مَدخَلٌ إِلى شبكات البيانات فيه فصلان، الأَوَّل عن نمذجة هذه الشَّبكات وأَهمِّ النَّماذج المُستعمَلة في توصيفها، وفيه تفصيلٌ دقيقٌ عن النَّماذج طَبقيَّة البِنية وشرحٌ لِكُلِّ طَبقةٍ فيها، ويَهتمُّ الثَّانِي بالتَّشبيك، وهي خِدمةٌ تُقدِّمها طَبقةٌ مُحدَّدةٌ في نَمُوذج شَبكة البيانات، وسبب التَّركيز عليها هُو أَنَّها الخِدمة الرَّئِيسة الَّتي تُقدَّم نتيجةً لِنشاط برُوتُوكُولات التَّشبيك عند أَدائِها لِوظائِفها، ومِنها الإصدار الرَّابِع والإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.
- وأَمَّا الباب الثَّانِي، فهُو عن الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ومُلحَقاته، ويَضمُّ أَربعة فُصُولٍ، أَوَّلها عن الإصدار الرَّابِع نفسِه ووظائِفه الَّتي يُؤَدِّيها، وثانِيها عن تجزئِة أَفضية العناوين وما يُلحَق بها مِن آليَّاتٍ، وثالِثها عن البثِّ المَجمُوعاتيِّ وهُو آليَّة توجيهٍ يَدعمُها البرُوتُوكُول، ورابِعها عن برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت، وهُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ يُستعمَل لِدعم عَمل الإصدار الرَّابِع.
- وأَمَّا الباب الثَّالِث، فقد خُصِّص لِمُناقشة مُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت والحُلُول المُقترَحة لِمُعالَجتها، وفيه ثلاثة فُصُولٍ، أَوَّلها وصفٌ لِمُشكِلة الاستنفاد وتَطوُّرها ومُناقشةٌ

(بالأَلمانيَّة: Joseph Schacht) و كِليفُورد بُوزُورث Clifford Bosworth وقد وَقعنا على الطَّبعة الأُولَى مِنه، وهي صادِرةٌ عن المَجلِس الوطنيِّ لِلثَّقافة والفُنون والآداب في الكُويت في دِيسمبَر 1987م، وهي مِن تعريب حُسين مُؤنِس وإِحسان العمد ومُراجَعة فُؤَاد زكريا.

لإستراتيجيَّات الحُلُول، وثانيها وثالِثها لِمُناقشة حَلَّين طُوِّرا لِمُواجهة المُشكِلة ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد، هُما التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات وترجمة عُنوان الشَّبكة على التَّرتيب.

- وأمَّا الباب الرَّابِع، فهُو لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكول الإنترنِت ومُلحَقاته، وهذا البرُوتُوكول هُو الحلُّ النِّهائِيُّ لِمُشكِلة الاستنفاد سابِقة الذِّكر، وفُصُول هذا الباب ثلاثٌ، أَوَّلها عن الإصدار السَّادِس نفسِه، وثانِيها وثالِثها عن برُوتُوكولين مُلحَقين به هُما برُوتُوكول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكول الإنترنِت وبرُوتُوكول اكتشاف الجيران على التَّرتيب.

وألحقنا بما أُسلِف سبعة مَلاحِقَ تَناولنا فيها مَواضِيعَ مُفصَّلةً لا يُمكِن الاستطراد بها ضِمن الفصل نفسِه مِن غير الذَّهاب بعيداً لِدرجةٍ يَستحِيل بعدها الحفاظ على الاتساق العامِّ، وهذه المَلاحِق هي:

- المُلحَق أ: وخُصِّص لِخيارات الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكول الإنترنِت.
- المُلحَق ب: وخُصِّص لِعَرض أَفضية البثِّ المَجمُوعاتِيِّ في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكول الإنترنِت.
- المُلحَق ج: وخُصِّص لِتفصيل الأَفضية المَحجُوزة في الإصدارين الرَّابِع والسَّادِس مِن برُوتُوكول الإنترنِت.
- المُلحَق د: وخُصِّص لِتناول أَمثِلةٍ عن تجزِئة فضاء العناوين ومُلحَقاتها في الإصدارين الرَّابِع والسَّادِس مِن برُوتُوكول الإنترنِت.
- المُلحَق هـ: وخُصِّص لِبيان الرَّسائِل المُبطَلة في برُوتُوكول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت ولِلرَّسائِل الَّتي لم تُذكَر تفاصيلها في متن الفصل الحادِي عشر المُخصَّص لِبرُوتُوكول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس.
- المُلحَق و: وخُصِّص لِبُنى ترويسات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكول الإنترنِت ومُلحَقاتِها.
- المُلحَق ز: ويَعرُض بيانات صُور الكِتاب ورُخصها في مَوقِع وِيكيميديا كُومُنز[7].

وزيَّنّا الكِتاب بما يَقرُب مِن مِئَتي شَكلٍ توضيحيٍّ، كُلُّها مِن إعدادنا ورَسمنا، راعينا فيها تجريد الفكرة وابتعدنا عن الهَرج والتَّلوين وما في حكم ذلك مِن ضُرُوبٍ تُبَهرج الظَّاهِر حتَّى يَضيع الباطِن، وقد رَفعنا أَغلبها على مَوقِع ويكيميديا كُومُنز باللُّغتين العربيَّة والإنگليزيَّة تحت رُخصة مَشاعٍ إبداعيٍّ[8] مُتوافِقةٍ مع رُخصة هذا العَمل، وأَفردنا، كما أَشرنا سابِقاً، مُلحَقاً لِعَرض بيانات الصُّور في المَوقِع.

وأَصعب ما واجهناه في إنجاز هذا العمل هُو الحفاظ على التَّوازن بين الشُّمول والاتساق، فكثيراً ما فَكرنا بإضافة فصلٍ هُنا أو التَّوسُّع في قِسمٍ ما هُناك، ثُمَّ عَدَلنا عن ذلك لما فِيه مِن إضعافٍ لِمُجمَل الاتساق العامِّ، فلَو أَدخلنا هذه الإضافات لاضطرب ترتيب الأَبواب والفُصُول اضطِّراباً لا يَصُح اعتماد المُؤَلَّف بعدَه، ولَفقد شَكله وهيئَته هذه. ومما تطلَّعنا لِإضافته ولم نَقدِر عليه برُوتُوكول الإنترنِت المُتحرِّك[9] وتِقنيَّات تسهيل الانتقال مِن الإصدار الرَّابِع إلى السَّادِس وبرُوتُوكول اكتشاف

[7] انظر الصَّفحة الرَّئيسة في commons.wikimedia.org.

[8] هي الإصدار الرَّابع لِرُخصة المَشاع الإبداعيِّ الدَّوليَّة المُلزِمة بنَسب العمل إلى مُؤَلِّفه وبترخيص المُشتقَّات بالمِثل (CC BY SA 4.0).

[9] أَصل الاسم Mobile Internet Protocol، اختصاراً MIP.

مُستمِعِي البثِّ المَجمُوعاتِيِّ. ولِهذا فإنَّا نَقُول بأنَّ هذا العمل بعيدٌ عن الكِمال، ولسنا نَرى في ذلك إلا صدَىً لما جَاء في رِسالة القاضِي عبد الرَّحيم البِيسانِيِّ إلى عماد الدِّين الأَصفهانِيِّ:[10]

«إنِّي رَأيت أنَّه لا يَكتُب أَحدٌ كِتاباً في يَومِه، إلا قال في غَدِه: لُو غُيِّر هذا لَكَان أَحسنَ، ولُو زِيد هذا لَكان يُستحسَن، ولُو قُدِّم هذا لَكَان أَفضل، ولُو تُرِك هذا لَكان أَجملَ. وهذا مِن أَعظم العِبر، وهُو دليلٌ على استيلاء النَّقص على جُملة البشر».

مَصادِر الكِتاب

واعتمدنا في كِتابنا هذا على سِتَّة أَنواعٍ مِن المَصادر هي الأَعمال المُراجَعة مِن الأقران والكُتُب والمُعايير، وضمَّناها أَدلة الاستعمال، ومُلاحظات تجارب الإنترنِت ووثائِق طَلب التَّعليقات ومَواقِع الويب. واستشهدنا بهذه الأَعمال في مَتن الكِتاب في أَكثر مِن ثماني مِئة مَوقِعٍ، وأَشرنا في كُلٍّ مِنها إشارةً مُختصَرةً لِمَوقِع الاستشهاد في حواشي الصَّفحات باستعمال رموزٍ لِلمَراجِع فَصَّلناها كُلَّها في ثَبتٍ في آخر الكِتاب.

- وأَمَّا الأَعمال المُراجَعة مِن الأَقران فهي مَقالاتٌ بَحثيَّةٌ نُشِرت في دوريَّات علميَّةٍ مُحكَّمةٍ مُتنوِّعةٍ أَو شَارك بها مُؤَلِّفها في مُؤتمرٍ عِلميٍّ، فاطلع عليها باحِثون مُستقِلُّون ورَاجَعوها وأَجازوها. وتَمتدُّ هذه الأَعمال، وعَدَدها نَيفٌ وأربعون، على أَكثرَ مِن نصف قرنٍ بدءاً مِن ستينيَّات القرن العشرين حتَّى تاريخ نَشر هذا الكِتاب.
- وأَمَّا الكُتب فهي مُؤَلَّفاتٌ أَعدَّها خبراءٌ مُختصُّون في مَجالِهم، ونشرُوها لِلعُمُوم، وقد حاولنا أَلا نَعتمِد عليها اعتماداً رئِيساً، على اعتبار أَنَّها مَصادِرُ ثَانويَّةٌ، فَعمَلُنا هذا يَعتمِد على الأُصول الأَوَّليَّة الَّتي رَجعنا إليها كُلَّما كان ذلك مُمكِناً، ومع ذلك فقد استشهدنا بكُتُبٍ بالإنكليزيَّة والفرنسيَّة والعربيَّة.
  - أَمَّا الكُتُب الإنكليزيَّة، وعَدَدها سبعةٌ، فبعضُها مما وَجدناه ذا فائِدةٍ قُصوَى، فاستشهدنا به مرَّاتٍ عديدةٍ في مَتن الكِتاب، ولكنَّها في أَغلبِها حول مواضِيع مُختصَّة لم نَتطرَّق لها باستفاضةٍ في كِتابنا، بل أَشرنا إليها في المَتن عند اللُّزوم وأَثبتناها في مَسرَد المَراجِع لِمن أَراد التَّوسُّع. وبالإضافة لما أَثبتناه، فقد استأنسنا استئِناساً عامَّاً بعَدَدٍ مِن الكُتُب والمُعجَمات الإنكليزيَّة عند إعداد المُحتوَى، لم نَذكُرها في ثَبت المَراجِع، ليس لِغفلةٍ مِنا، ولكن لكِي لا نُثقِل المَتن والحواشي ونحمِّلهما أَكثرَ مما يَحتمِلان، ونُورِد بعضاً مِنها في ما يَلي، فمِن الكُتُب:
    - ❖ A. Blank, "TCP/IP foundations". San Francisco: Sybex, 2004. ISBN: 0-7821-4370-9.
    - ❖ C. Kozierok, "The TCP/IP Guide: a Comprehensive, Illustrated Internet Protocols Reference". San Francisco: No Starch Press, 2005. ISBN: 1-59327-047-X.

[10] انظر الأَصل في ج. 1 ص. 1042 مِن كِتاب كَشف الظُنون عن أَسامِي الكُتب والفنون لِمُصطَفَى بن عبد الله المَشهُور بلقب الحاج خليفة الصَّادِر في عام 1941م عن مَكتبة المُثنَّى في بغداد.

ومِن المُعجَمات الإنكليزيَّة:

❖ A. Butterfield and J. Szymanski. "A Dictionary of Electronics and Electrical Engineering". Oxford University Press, 2018. ISBN: 978-0-19-103866-2.

❖ P. Laplante, "Electrical engineering dictionary". Boca Raton: CRC Press, 2000. ISBN: 978-0-19-103866-2.

❖ J. Gilb, "The IEEE wireless dictionary", 2[ed] edition, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011. ISBN: 978-0-7381-6108-2.

❖ "Multilingual dictionary of electricity, electronics and telecommunications: with terms in nine languages and definitions in English". Geneva: International Electrotechnical Commission, 1992. ISBN:978-1-55937-185-8.

○ وأَمَّا الكُتُب الفرنسيَّة، فقد أَفَدنا مِن مَكتبة مَدرَسة الهندسة حيثُ نَعمَل إفادةً خاصَّةً، فقد عَثرنا فيها على كتبٍ عديدةٍ صَدَرت في التِّسعينيَّات مِن القرن العشرين، ولِهذه المُؤَلَّفات أَهمِّيَّةٌ تاريخيَّةٌ في رَأينا، فكانت ذات نفعٍ في إعداد الباب الأَوَّل مِن الكِتاب حَصَراً، وقد سَردنا في ثَبت المَراجِع أُصولاً اثنين مِنها لاعتمادنا عليها اعتماداً مَلحُوظاً، وأَمَّا ما سيَأتي فهي كُتُبٌ استَأنسنا بها مِن هذه المَكتَبة ولم نُورِدها في المَسرَد:

❖ F. Lepage, "Les réseaux locaux industriels : principes illustrés par des exemples". Paris: Hermès, 1991. ISBN: 2-86601-267-4.

❖ K. Siyan, P. Naniche and Y. Schwartz. "TCP/IP". Paris: Simon & Schuster Macmillan, 1998. ISBN: 2-7440-0391-3.

○ وأَمَّا الكُتُب العربيَّة، فَهي في أَغلبِها مُعجَماتٌ لُغويَّةٌ عامَّة أَو اختصاصيَّةٌ، فقد سَردنا ثمانيةً مِنها في ثَبت المَراجِع وأَشرنا لِمَواقِع الاستشهادات في مِتن الكِتاب أُصُولاً. ولكنَّا استَأنسنا أَيضاً في أَثناء إعداد المُحتوَى بعَدَدٍ وافِرٍ مِن المُعجَمات الاختصاصيَّة، ولم نَذكُرها في الثَّبت، مِنها:

❖ ت. الكيلاني، م. الكيلاني، "معجم الكيلاني لمصطلحات الحاسب الآلي"، بيروت: مكتبة لبنان ناشرون، الطبعة الثانية، 2001.

❖ "معجم مصطلحات المعلوماتية"، دمشق: الجمعية السورية للمعلوماتية، 2000.

❖ "المعجم الموحد لمصطلحات المعلوماتية"، الرباط: مكتب تنسيق التعريب، 2000، ردمك: 9881-1888-9-1.

❖ ي. خياط، "معجم المصطلحات العلمية والفنية" بيروت: دار لسان العرب

❖ المنظمة العربية للترجمة، "المنتقى: معجم المصطلحات العلمية والهندسية"، بيروت: مركز دراسات الوحدة العربية، 2012، ردمك: 978-9953-82-491-8.

❖ م. البرعي، هـ. البرعي، ع. محمود، ح. ريحان، "معجم المصطلحات العلمية"، القاهرة: مكتبة الأنجلو المصرية، 2008، الطبعة الثانية عشرة، ردمك: 977-05-2086-1.

- وأَمَّا المَعايير وأَدلَّة الاستعمال، فتَشمُل أَحد عَشر مرجعاً. والمعايير هي مَجمُوعةٌ مِن المُواصفات والمُتطلَّبات لِتقانةٍ ما، تَضعُها هيئَاتٌ نَّاظِمة دَوليَّةٌ أَو مَحلِّيَّةٌ لِتوحيد التَّنفيذ والتَّصنيع والاستعمال، وأَمَّا أَدلَّة الاستعمال فهي شرحٌ يَصدُر عن شركةٍ مُصنِّعةٍ لِتنفيذٍ ما لِإحدَى التِّقنيَّات تُحدِّد فيه كيفيَّة استعمال هذا النَّموذج بأَفضل صُورةٍ مُمْكِنةٍ.
- وأَمَّا مُلاحظات تجارب الإنترنِت، فهي وثائِقُ أَعدَّها مُطوِّرو الإنترنِت الأَوائِل، ودَوَّنُوا فيها أَفكارهم ومُلاحظاتهم وتطلُّعاتهم عندما وَضعُوا لَبِنات الشَّبكة الأُولى في سِتينيَّات وسِبعينيَّات القرن العشرين، ولكنَّ حالة حِفظ هذه المُلاحظات سيئَةٌ، فبعضُها مَفقُودٌ تماماً وبعضها مَمْسُوحٌ ضوئِيَّاً مَسحاً سيئاً وبعضُها غير مُتوفِّرٍ إِلَّا بصِيغٍ مُحدَّدةٍ، ما يَجعُل العمل معها مُتعِباً أَشدَّ التَّعب وغير مُستَحبٍّ، وأُغلبها مُتوفِرٌ لِلعُمُوم بواسطة مُجتمَع الإنترنِت، وقد عُدنا إِلى سِتةٍ مِنها، فاستشهدنا بها في المَتن عند الحاجة وأَثبتنا بياناتها في مَسرَد المَراجِع.
- وأَمَّا وثائِق طَلب التَّعليقات، فهي الأَساس الَّذي بُنِي عليه هذا الكِتاب، وهي مَنشوراتٌ رقميَّةٌ يَضعُها مُطوِّرو تقنيَّات الإنترنِت، ويَنشُرها مُجتمَع الإنترنِت منذ أَكثرَ مِن خمسين سنةً، وهي مجانيَّةٌ مُتاحةٌ لِلجميع، ويَزيد عَدَدها في تاريخ وضع هذا الكِتاب عن عَشرة آلافٍ، وفيها توصيفٌ وتوثيقٌ لِبرُوتُوكُولات الشَّبكة وتقنيَّاتها وآليَّاتها كُلِّها، وفيها أَيضاً مُناقشاتٌ مُفيدةٌ وتَأريخٌ دقيقٌ، وحالة حِفظها مُمتازةٌ، وقد عُدنا إِلى أَكثرَ مِن مِئَتين مِنها فأَفدنا مِنها خير الإفادة وأَثبتنا ما اعتمدنا عليه في مَواقِعه في المَتن في وفصَّلنا في تفاصيله في ثَبت المَراجَع.
- وأَمَّا مَواقِع الوِيب الَّتي استشهدنا بها، والتي يَزيد عَدَدها عن الخمسين، فهي إِمَّا قواعِد بياناتٍ لِمُنظَّماتٍ تُشغِّل الإنترنِت أَو بياناتٌ صِحفيَّة لا نسخة ورقيَّةً عنها أَو مُسوَّداتٍ لِتطوير تقنيَّاتٍ تَوقَّف العمل فيها ولم يَتمَّ. ونُحن نُدرِك كَراهة الاستشهاد بمُواقِع الوِيب إدراكاً تامَّاً، فهي في أَغلبها لا تُحقِّق شرط إِمكانيَّة التَّحقُّق[11] الَّذي تَفرُضه مَناهِج البحث العلميِّ، وبعضُ المَواقِع قد تَوقَّف سلفاً واختفى عن الإنترنِت، ولا يُمكِن الرُّجوع إِليه لِلتَّحقُّق مِنه، لذلك عَمَدنا إِلى أَرشفة مَواقِع الوِيب الَّتي استشهدنا بها كُلِّها وأَثبتنا رابِط الأَرشيف نصَّاً وتاريخه رقماً في مَسرَد المَراجِع إِلى جانِب تاريخ النَّشر للمرَّة الأُولَى وتاريخ آخر زيارةٍ لنا لِلمَوقِع.

ورمَّزنا المَراجِع كُلَّها بخمسة مَحارِفَ تُوضَع بين قوسين مَعقُوفِين [] على أَن تُشير المَحارِف الثَّلاثة الأُولَى إِلى فِئَة المَرجِع والمِحرَفين الرَّابِع والخامِس إِلى رقم المَرجِع ضِمن الفِئَة، وجاءَت الرُّموز كما سيَأتي:

- لِلأَعمال المُراجَعة مِن الأَقران ART، مِن الكِلمة الإِنكليزيَّة Article، نحو [ART01].
- لِلكُتُب BK، مِحرَفان لِتمثيل كلِمة كِتاب الإِنكليزيَّة وهي Book، يَليها مِحرَفٌ وحيدٌ لِتمثيل اللُّغة وهُو A لِلعربيَّة، نحو [BKA01]، وE لِلإِنكليزيَّة، نحو [BKE01]، وF لِلفرنسيَّة، نحو [BKF01]، وهي الأَحرف الأُولى مِن مُقابِلات أَسماء هذه اللُّغات في الإِنكليزيَّة[12].

---

[11] أَصل الاسم Verifiability.

[12] أُصول الأَسماء: Arabic وEnglish وFrench على التَّرتيب.

- لِلمَعايير وأَدلة الاستعمال STD، مِن الكلِمة الإِنكليزيَّة Standard، نحو [STD01].
- لِمُلاحظات تجارِب الإِنترنِت IEN، بأَخذ الحَرف الأَوَّل مِن كُل كلِمةٍ في العبارة الإِنكليزيَّة المُقابِلة، نحو [IEN01].
- لِوثائِقَ طَلب التَّعلِيقات RFC، بأَخذ الحَرف الأَوَّل مِن كُلِّ كلِمةٍ في العبارة الإِنكليزيَّة المُقابِلة، نحو [RFC01].
- لِلويب WEB، وهي نفسُها الكلِمة الإِنكليزيَّة المُقابِلة نحو [WEB01].

مَنهَج التَّعريب

وكُنَّا قد دَرسنا في سنِين الشَّباب بالعربيَّة الفُصحَى، وهي لُغة التَّعليم العالِي الرَّسميَّة في سُورية، فأَخذنا العُلُوم والمُصطلَحات كُلَّها بلسانٍ عربيٍّ مُبِين، وما وَجدنا في ذلك مُشكِلةً قطُّ، بل استحسناه كُلَّ الاستحسان، ثُمَّ ارتحلنا في طَلب العِلم إِلى فرنسة، فدَرسنا باللُّغتين الفرنسيَّة والإِنكليزيَّة، ونَهلنا العلوم الحديثة بلُغاتها الأَصيلة، فلم يَزِدنا ذلك إِلا تشبُّثاً بأَهمِّيَّة التَّعلُّم والتَّعليم بالعربيَّة. ثُمَّ دَرَّسنا في مُؤسَّساتٍ فرنسيَّةٍ وصِينيَّةٍ وفنزويليَّةٍ، فلم نرَ مِنهم إِلا الاهتمام كلَّه بلغاتهم المَحلِّيَّة.

ونَذكُر مرّةً أَننا درَّسنا مُقرَّر إِنترنِت الأَشياء في أَكاديميَّة هَواوِي الصِّينيَّة[13]، وكان في المَجلِس كثيرٌ مِن الطَّلبة الصِّينيِّين الَّذين يُعانِي جُلُّهم مِن صُعوباتٍ في التَّعامُل مع اللُّغات الهِندأُوروبية، فأَنشأَت جدولاً كبيراً لِلمُصطلَحات امتدَّ أَكثرَ مِن عَشر صَفحاتٍ مِن القَطع الكبير، فيه عُمُودٌ لِلمُصطَلح الإِنكليزي وثانٍ لِلفرنسيِّ مَلَأناها بالبيانات، وآخرُ لِمُفرَدات اللُّغة الصِّينيَّة تركناه فارِغاً لِعدم معرفتنا بالصِّينيَّة على أَن يَملَأه الطَّلبة فيَكُون عَوناً لهم، فمَلَؤُوه كُلَّه في بضعة أَيامٍ، واستحسَنت إِدارة الأَكاديميَّة ذلك وقَدَّرته تقديراً جَلَلاً.

ولم نَرَ، في أَثناء عملنا لِسنواتٍ مع الفرنسيين، إِلا اهتماماً كبيراً مِنهم بلُغتهم، وإِصراراً على التَّواصِل بها واعتمادها في التَّعلُّم والتَّعليم، ويَندُر أَن يَقترِح فرنسيٌّ، مِمَن أَعرِفهم، أَو أَن يَطلُب أَو يُوافِق على تدريس مُقرَّرٍ جامِعيٍّ بلُغةٍ غير الفرنسيَّة، مع أَنَّ أَغلبهم يُجيد الإِنكليزيَّة والإِسبانيَّة إِجادةً تامَّةً.

وعلى العكس مِن كُلِّ ما سبق، يَنشُط في البلاد العربيَّة مُناوئُو العربيَّة نشاطاً عجيباً ويَجهدُون في مُحارِبة استعمالها في الحياة اليوميَّة، فنراهم تارةً يُروِّجُون لِلهجات العاميَّة، وطَوراً لِلُغات الأَجنبيَّة، يُغذِّيهم خطابٌ استعماريٌّ مُتهالِكٌ عفا عليه الزَّمن، ولهم في مَذهَبهم مَنهَجٌ عجيبٌ وحِججٌ غريبةٌ لا تَستقيم، وقد تَصدَّى علماء العربيَّة وأَساتذتُها المُعاصِرون وردُّوا عليهم في كُلِّ مَحفَلٍ ثَقفُوهم به.[14]

وقد اعتمدنا في ضوء ما أُسلف مَنهَجاً مُتشدِّداً في التَّعريب، فثبتنا الكلمات عربيَّة الأُصول المُقابِلة لِكُلِّ مُصطلَحٍ أَعجميٍّ ما استطعنا إِلى ذلك سبيلاً. فلَو صَادفنا كلِمةً غريبةً، رَجعنا إِلى المُعجَمات المُختصَّة الَّتي بين أَيدينا، فإِن وَجدنا إِجماعاً عليها، اطمأَنَّ قلبُنا لِما وَجدناه وأَثبتناه، ومِن الكلمات الَّتي اعتمدنا هذا المَنهَج فيها كلِمة "استنفاد" في مُقابِل "exhaustion" و"ترويسة" في مُقابِل "header".

---

[13] أصل الاسمين: Internet of Things اختصاراً IoT، وHuawei ICT Academy.

[14] انظر مثلاً كِتاب "تاريخ الدَّعوة إلى العاميَّة وآثارها في مصر" لِنَفُوسة سعيد، الصَّادِر عن دار نشر الثَّقافة في الإِسكندريَّة في عام 1964م، وانظر أَيضاً مُقدِّمة كِتاب "في التَّعريب" الَّذي وَضَعه إِدريس العَلمِيُّ في عام 2001م، ونُشِر بواسطة دار النَّجاح الجديدة في الدَّار البيضاء.

أمَّا إذا لم نَجِد الكَلِمة في المُعجَمات أو لم نَجِد إجماعاً حول تعريبها، فإنَّنا نَعُود إلى الأصل الأعجميِّ أوَّلاً، ونُراجِع المُعجَمات الأعجميَّة لِنفهَم مَعنَى الكلِمة وتصريفها، ثُمَّ نَنظر ثانِياً إلى استعمالاتها المُتنوِّعة في السِّياقات التِّقنيَّة، وبعد أن نَفهَم المَعنَى فهماً دقيقاً نَعُود ثالِثاً إلى المُعجمَات العربيَّة، فنَنقَب فيها بحثاً عن معانٍ عربيَّةٍ مُقابِلة لِلأُصول الأعجميَّة، ونُثبِّتها إن وَجدناها، ومِن الكلِمات الَّتي اعتمدنا هذا المَنهَج فيها كلمة "تجزئة فضاء العناوين" في مقابل "subnetting" و"توسِعة" في مقابل "plug-in" و"هُجُوم الوسيط" في مُقابِل "man-in-the-middle attack".

وأمَّا إذا لم يَنفَع المَنهَجان السَّابِقان، فإنَّنا نَنقُل، كراهةً، الكلِمة الأعجميَّة نقلاً حرفيّاً (نقحرةً) إلى العربيَّة، نحو "الإنترنِت" في مُقابِل "internet" والبرُوتُوكُول في مُقابِل "protocol" و"طُوبُولُوجيا" في مُقابِل "topology". ولا نُخفِي سِرّاً أننا عَثرنا لِبعضها على مُقابِلاتٍ عربيَّةٍ، فمثلاً تُعرِّب بَعضٌ مِن المُعجمَات الإنترنِت إلى الشَّابِكة والبرُوتُوكُول إلى المِيفاق، ولكنَّا وجدنا هذه الكلمات ثقيلةً على اللِّسان، غريبةً على السَّمع، غير مُستحبَّةٍ، كما أنَّها لا تُصِيب المَعنَى المُراد مِن اللَّفظ الأعجميِّ إصابةً تامَّةً، وقد أثبتنا الأُصول المُنقحَرة في هذه الحالات كُلِّها.

وارتَأينا أن يَكُون النَّصُّ في مَتن الكِتاب عربيّاً بالكامِل، كي لا يَتشتَّت القارئ، فلم تَرِد أيُّ لَفظةٍ أعجميَّةٍ في المَتن ما خلا أسماء المُتحوِّلات، ونَقلنا الألفاظ الأعجميَّة كُلَّها إلى الحواشي، وعرَّبناها مع إسنادها إلى المُعجَمات أُصولاً وبيَّننا ما اجتهدنا فيه بياناً لا يَقبَل اللَّبس، كما أوردنا أصل الأسماء بلُغاتها الأصيلة وإلى جانِبها اسم اللُّغة الأصيل، فإن لم يُذكَر الاسم، فاللُّغة هي الإنكليزيَّة.

وضَبطنا النَّصَّ بالشَّكل ضَبطاً شبه كامِلٍ، خاصَّةً في حالات التَّضعيف، نحو "اطمأنَّ" و"الرَّابِع"، وعند تصريف الأفعال، نحو "يُنتِج" و"يَشمُل"، وفي المَواضِع الَّتي يَتغيَّر المَعنَى فيها بتباين الشَّكل، نحو "يُنشِئ" و"يَنشَأ" و"مُعدِّل" و"مُعدَّل"، واستثنينا الأحرف السَّاكِنة وحركات الإعراب كي لا نُثقِل النَّصَّ، فتُصبِح قراءَته مُتعبَةً.

كما استعملنا الحُرُوف المُضافة لِلأبجدية العربيَّة لِبيان لفظ الكلِمات المُنقحَرة لفظاً صحيحاً وهي الكاف المَشرُوطة (گ) لِلصَّوت /g/، نحو "الإنگليزيَّة"، والباء المُثلَّثة (پ) لِلصَّوت /p/، نحو "سِپتَمبَر"، والفاء المُثلَّثة (ڤ) لِتَنُوب عن الصَّوت /v/، نحو "نُوڤَمبَر"، وهذه الصَّوائِت كُلُّها غير مَوجُودةٍ في العربيَّة.

واعتمدنا على الأرقام العربيَّة اعتماداً كامِلاً وهي 0 و1 و2 و3 و4 و5 و6 و7 و8 و9، وعلى أسماء الأشهر الغربيَّة المُعرَّبة وهي على التَّرتيب: يَناير وفِبرَاير ومَارس وأپرِيل ومَايُو ويُونيُو ويُوليُو وأغسطُس وسِپتَمبَر وأُكتُوبر ونُوڤَمبَر ودِيسمبَر، وعلى التَّاريخ المِيلادِيِّ وَفقاً لِلتَّقويم الگريگوريِّ وأرفقنا حرف "م" بعد كُلِّ ذِكرٍ لِلسَّنوات لِلإشارة لذلك.

ونُشير إلى ثلاثة كتبٌ أفدنا مِنها إفادةَ جمَّةً في مسألة التَّعريب، أوَّلُها كِتاب د. عبد الكريم خليفة، رحمه الله، المُعنوَن "اللغة العربية والتعريب في العصر الحديث"، الصَّادِر عن مَجمَع اللُّغة العربيَّة الأُردنيِّ في عمَّان عام 1987م، فقد أفدنا مِنه في بِناء مَنهَج التعَّريب وفي توسيع مدارِكنا في هذا الشَّأن وتحدياته. وثانيها كِتاب "صناعة المُعجَم الحديث" لِمُؤَلّفه د. أحمد مُختار عُمَر، رحمه الله، الصَّادِر عن عالَم الكُتب في القاهِرة عام 2009م، فقد أفدنا مِنه أيضاً في ترتيب مَسارِد المُصطلَحات والاختصارات، وثالِثها كِتاب "فنِّ التَّرجمة والتَّعريب" لِمُؤَلِّفه عبَّاد ديرانيَّة، وهُو صادِرٌ عن أكاديميَّة حَسُوب بنسخةٍ رقميَّةٍ فقط في نهاية عام 2021م، وفيه تناوُلٌ لِمسائِلَ كثيرةٍ في تعريب المُصطلَح والتَّركيب وفي نقل المَعنَى مِن لُغةٍ لأُخرَى، وقد اطَّلعنا عليه في مرحلة تنضيد الكِتاب وأفدنا مِنه في توحيد المُصطلَحات في خلال المُراجعة النِّهائيَّة.

شُكرٌ وعِرفانٌ

ولا بُدَّ فِي الختام أَن نَذكُر أَساتذتنا الكِرام الَّذين نَقِف على أَكتافِهم، والزُّملاء الأَفاضِل الَّذين ساندونا فِي مراحل العمل المُختلَفة، كُلٌّ حسب وِسعه، فنَشكُرَ الجميع، ونَعترِف بفضلهم ونَفِيهم حقَّهم.

الشُّكر مَوصُولٌ أَوَّلاً لِأَستاذنا القدير د. أُوكتافيان كُوريا[15] على مُساعَدته القيِّمة فِي ترتيب الأَفكار وتنسيق الطَّرح ولِأَنَّه كان مَوجُوداً دائِماً لِلإِجابة عن كُلِّ سُؤَالٍ نَطرحه، خاصَّةً فِي ما يَتعلَّق بمَنهجيَّة العمل وسلامة البحث، وأَيضاً لِمُساهمته فِي إِخراج قِسم المَراجِع وترتيبه بهذا الشَّكل، وهُو بحقٍّ مَن عَناه الإِمام الشَّافعِي بقوله:[16]

أَخي لن تَنال العِلم إِلَّا بستةٍ سأُنبِيك عن تفصيلها ببيانِ
ذكاءٌ وحِرصٌ واجتهادٌ وبُلغَةٌ وصُحبةُ أَستاذٍ وطُولُ زمانِ

ونَودُّ أَيضاً أَن نَشكُر أَستاذنا د. غادِي مَحمُودِي على تخصيصه الوقت والجهد لِقراءة النُّسخة الأُولَى مِن الكِتاب والتَّعليق عليها، وعلى مُراجَعته القيِّمة لِلعمل ومُلاحَظاته الدَّقيقة والمُفصَّلة، والَّتي أَفدت مِنها فِي تصويب بعضٍ مِن الاعوجاجات الَّتي اعترت هيكل العمل، فخَرَج الكِتاب بعدها على هيئَته هذه، مُتناسِق الأَركان بديع البُنيان.

والشُّكر أَيضاً مَوصُولٌ لِلزملاء الأَفاضِل فِي مَجمُوعة وِيكيميديا بلاد الشَّام[17]، وهُم، مِن غير ترتيب، د. باسِم فُليفِل وعبَّاد دِيرانيَّة ود. علاء نجَّار[18]. أَمَّا د. فُليفِل، وهُو باحِثٌ ومُؤَرِّخٌ، فقدت عُدت إِليه غير مَرَّةٍ فِي أَثناء إِعداد النَّبذات التَّاريخيَّة الَّتي تَتَصدر كُلَّ فصلٍ، فكان خيرَ مَرجِعٍ وأَفدنا مِنه فِي جعل السَّرد خفيفاً مُمتِعاً بعيداً عن نمطيَّة السِّياق التَّاريخيِّ وجفاف التَّعابير. وأَمَّا الزَّميل ديرانيَّة، فقد تفضَّل مَشكُوراً بمُراجَعة مُقدِّمة الكِتاب، وأَثراها بمُلاحظاتٍ غنيَّةٍ مُتنوِّعةٍ، فخَرجَت بعد ذلك بصُورتها الحالِيَّة، مُفصَّلةً ودقيقةً ومنهجيَّةً، وقد أَفدنا أَيضاً مِن كِتابه الأَخير فِي إِعداد مَسرَد المُصطلَحات كما أَسلفنا. أَمَّا د. نجَّار، فقد أَفدنا مِن النِّقاشات الكثيرة معه فِي مسائِل التَّعريب والتَّرجمة، فله باعٌ طويلٌ فيها ولديه مَكنَز مُصطَلحاتٍ وتعابيرَ لا يَنضُب، ومُساهماته فِي صِناعة مُصطلَحاتٍ جديدةٍ كثيرةٌ بين زوايا هذا الكِتاب.

ولن نَنسَى مُحرِّرة الكِتاب، الزَّميلة سَاندرَا هانبو[19]، وهِي أَيضاً عُضوٌ نَشِطٌ فِي مَجمُوعة ويكيميديا بلاد الشَّام سالِفة الذِّكر. فقد رافقتني أَكثرَ مِن عامٍ فِي أَثناء إِعداد هذا الكِتاب، ولم يَمنَعها عِظَم المَسافة الَّتي تَفصُل بين مَحلَّي إِقامتنا من العمل عليه، فحرَّرت نصَّه وضَبَطت شَكله ووُحِّدت الاصطلاح فيه، وكانت نِعم العَون وخير السَّند، ولم يَكُن الكِتاب لِيَخرُج بهذا الشَّكل الأَنيق المُنمَّق مِن غير لمساتها المُتناثِرة فِي كُلِّ رُكنٍ مِن أَركانه.

[15] أَصل الاسم Octavian CUREA، وله المُعرِّف المَفتوح لِلباحِثِين والمُساهِمين التَّالِي: ORCID: 0000-0002-5030-2088.

[16] انظر النَّص الأَصيل فِي ص. 49 فِي كِتاب "المُستطرَف فِي كُلِّ فنٍّ مُستظرَف" لِلأَبشهيِّ، الصَّادِر عن دار الأرقم بن أَبِي الأَرقم فِي بيروت فِي عام 2016م.

[17] هِي مَجمُوعةٌ تطوعيَّةٌ عربيَّةٌ تَأَسَّست فِي عام 2015م تَضمُّ مَحرِّرين نَشطين فِي النُّسخة العربيَّة مِن مَوسُوعة ويكيبيديا مِن سُورية والأُردن وفَلسطِين ولُبنان، وهِي تَعمَل بالتَّعاون مع مُؤَسَّسة وِيكيمِيديا فِي مَنطقة بلاد الشَّام على تعزيز المَعرِفة الحُرَّة وثقافة العمل التَّطوعيِّ.

[18] المُعرِّف المَفتوح لِلباحِثِين والمُساهِمين لِلزميل د. فُليفِل هو ORCID: 0000-0003-1724-0708، ولِلزميل عبَّاد هُو: ORCID: 0000-0002-1667-7580 ولِلزميل د. نجَّار هُو: ORCID: 0000-0001-6362-8899

[19] المُعرِّف المَفتوح لِلباحِثِين والمُساهِمين لِلزميلة ساندرا هو ORCID: 0000-0001-8821-0608

وأَشكر أَخيراً، الصَّديق والأخ العزيز يَانِيك رُونُو صاحِب مَكتبة بلاد الشَّام[20] في بايُون بفرنسة، على دعمه غير المَشرُوط في أَثناء إعداد هذا الكِتاب وتنضيده، وعلى مُساهمته القيِّمة في التَّواصُل مع النَّاشِرين وصُولاً لِطباعة الإِصدار الورقيِّ منه.

والحمد لله أَوَّلاً وأخيراً

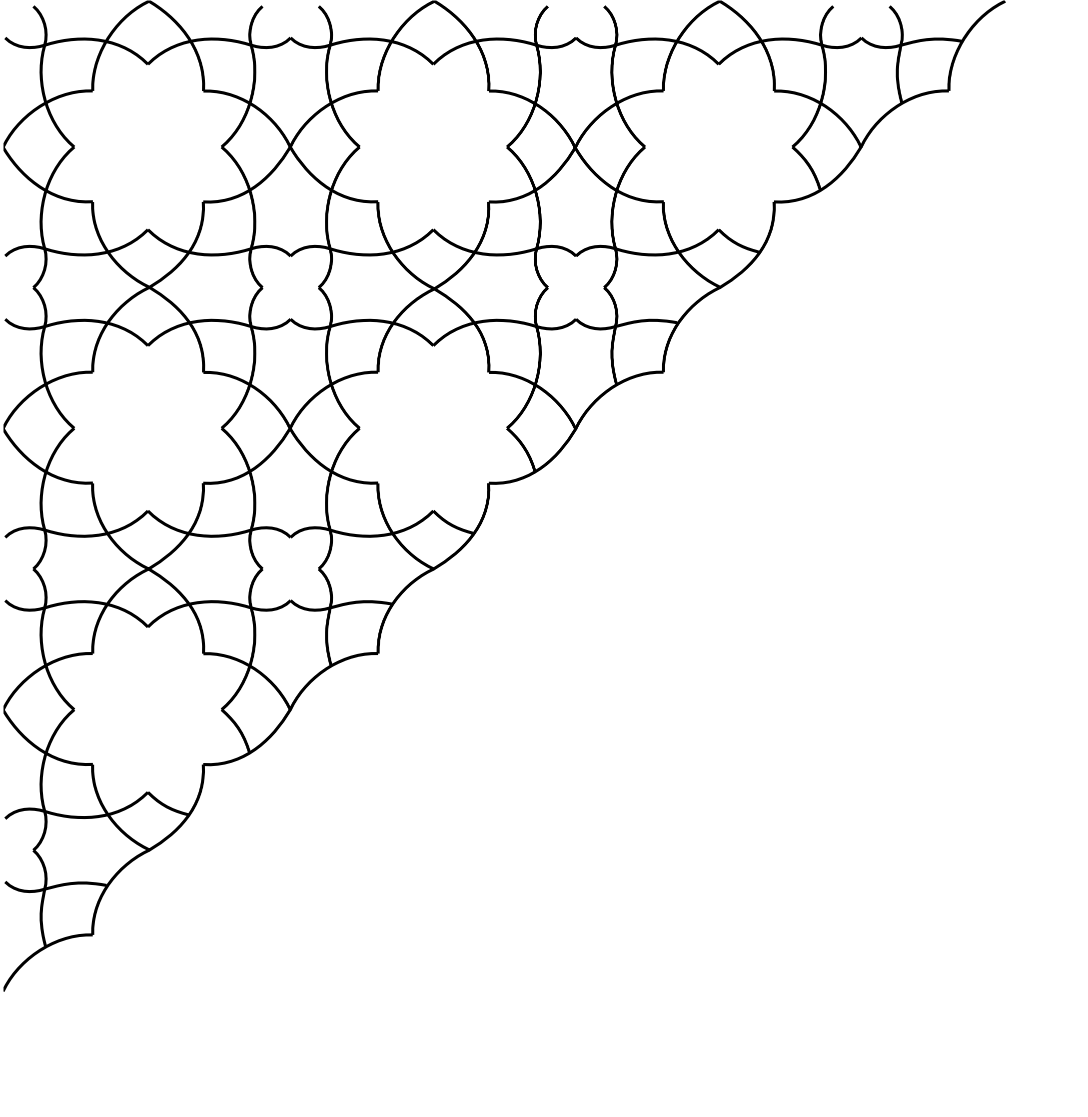
فهُو غالِبٌ على أَمرِهِ

ووَلِيُّ التَّوفيق

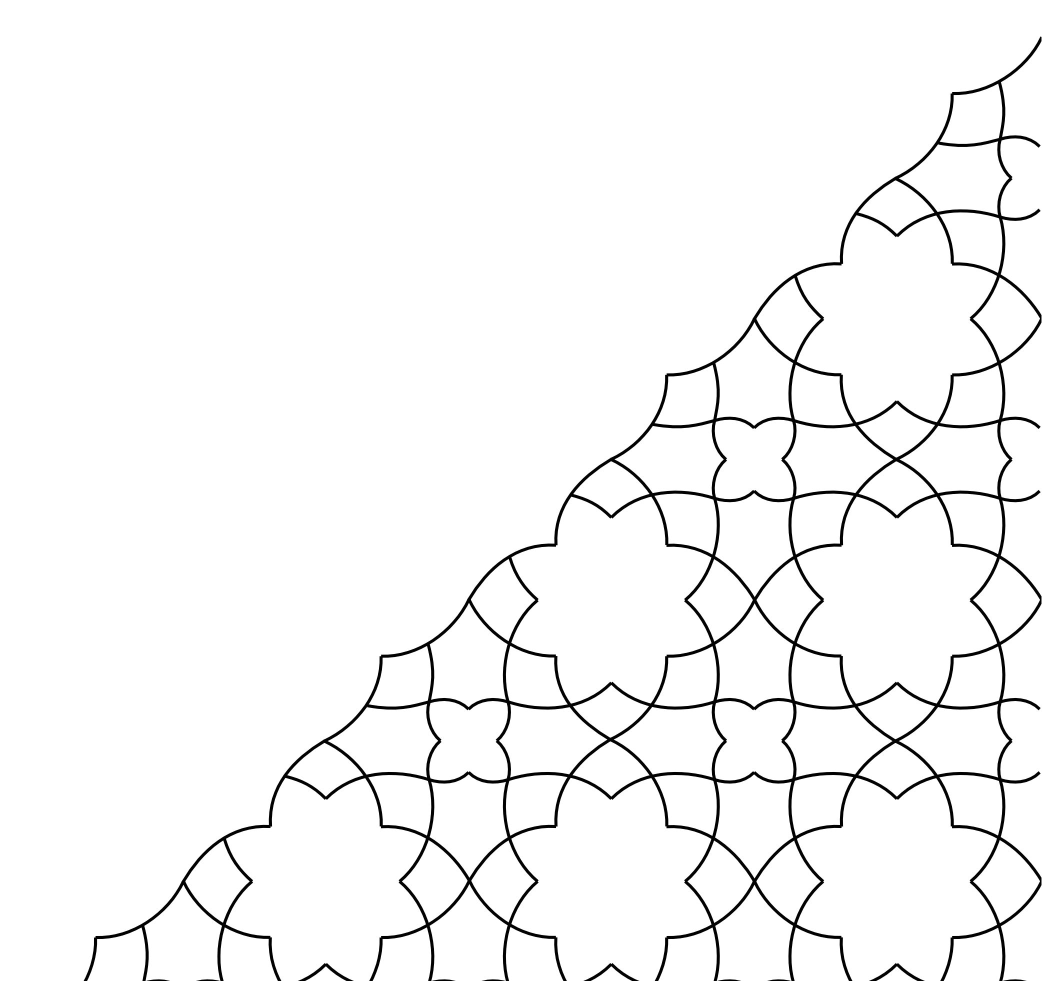
21 رجب 1443 هـ المُوافِق 22 فِبراير 2022م

بيدار، فرنسة

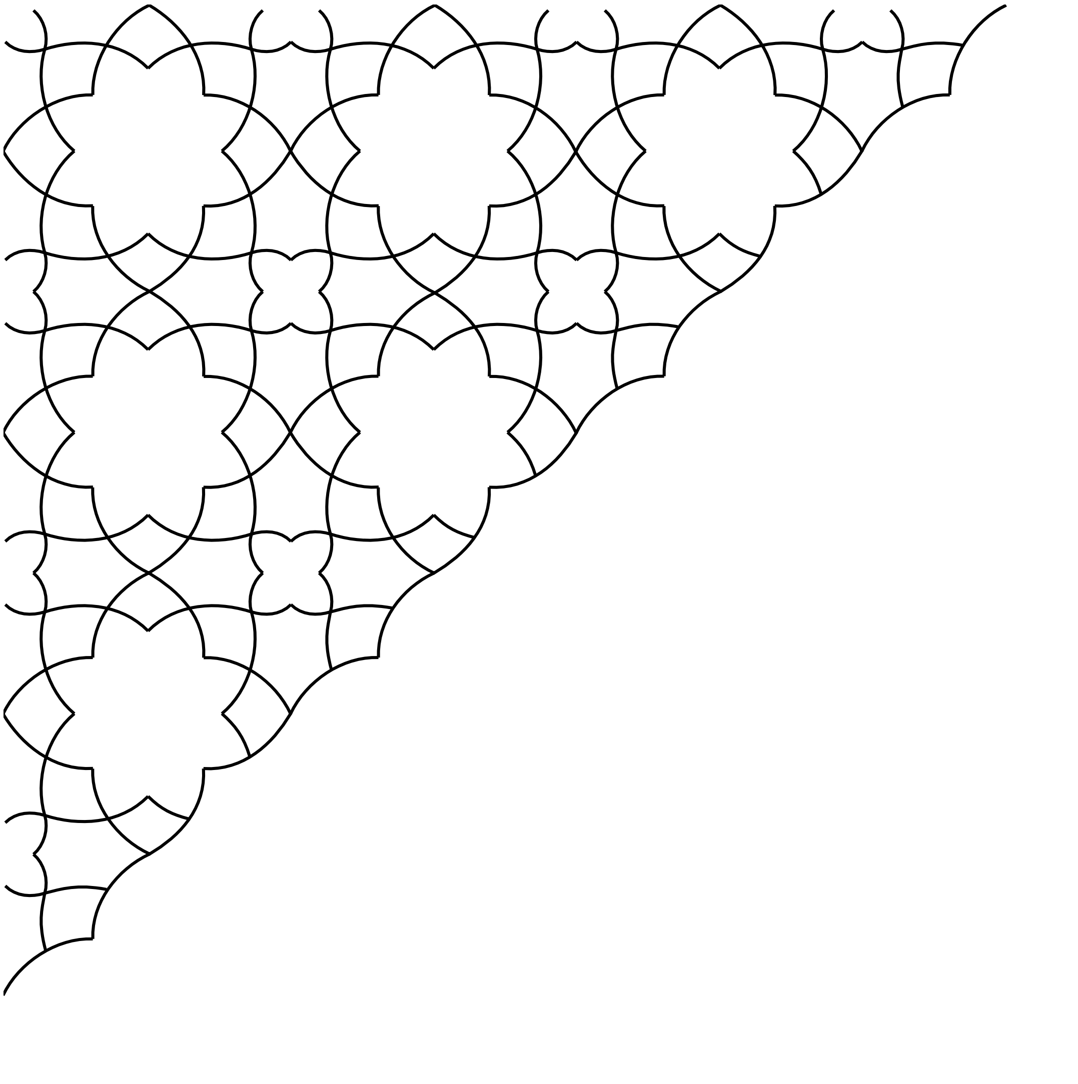
[20] أَصل الاسم (بالفرنسيَّة: Yannick Renaud)، وأَصل اسم المَكتبَة (بالفرنسيَّة: Librairie du Levant).



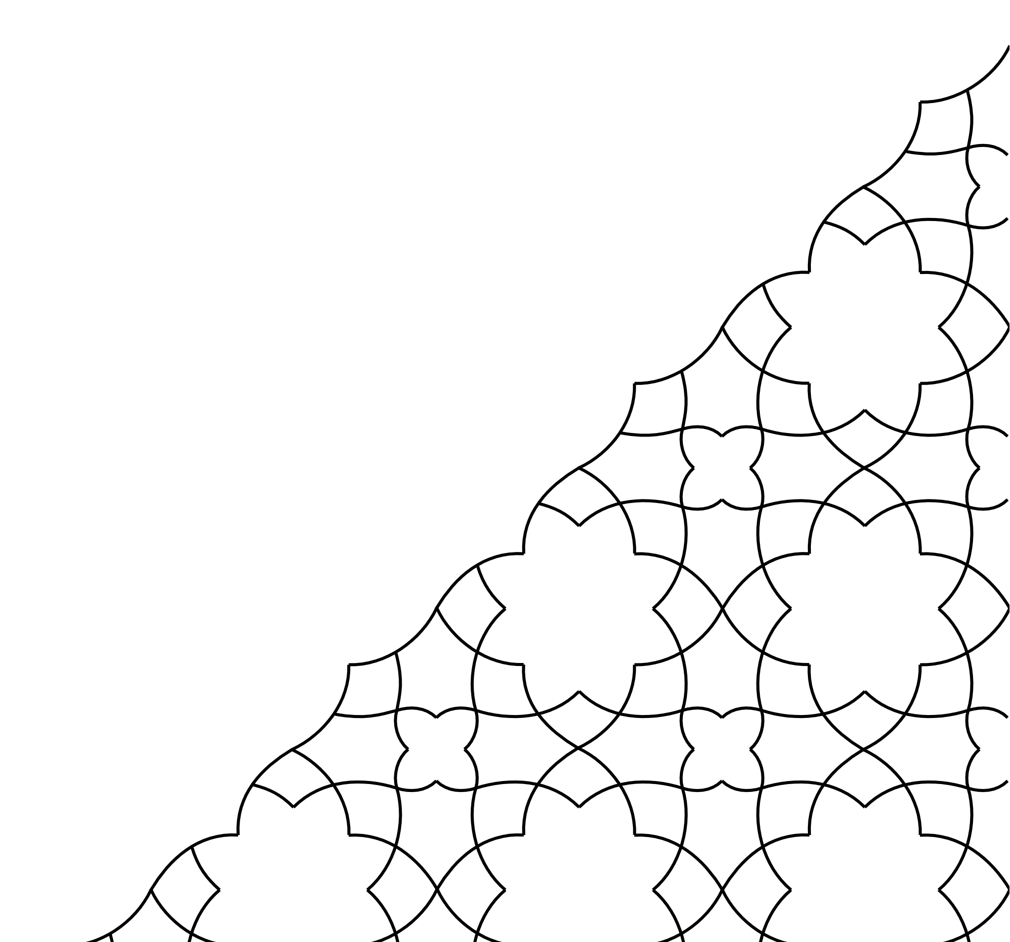
الباب الأَوَّل: مَدخَلٌ إِلى شَبكات البيانات



تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل الأَوَّل: نَمذَجة شَبكة نقل البيانات



مُقدِّمةٌ

لم يَشهَد تاريخ البشريَّة مِن قبلُ تطوُّراً تقنيَّاً مُتسارِعاً مُماثِلاً لما حَصل في النِّصف الثَّانِي مِن القرن العشرين. لقد تقدَّمت الحَوسَبة وتقاناتها تقدُّماً كبيراً، وحَصَلت، نتيجةً لِذلك، قفزةٌ هائِلةٌ في فُرُوع المَعرِفة كُلِّها، ومِن غير المُمكِن إنكار تَأثير الحاسُوب وشَبكاته في الثَّورة العِلميَّة الحديثة. وأَمَّا الحاسُوب فيَقِف وراء تسريع وتيرة مُعالَجة البيانات وإنجاز الحسابات الَّتي أصبحت تُنجَز بسرعةٍ غير مَسبُوقةٍ، وأَمَّا الشَّبكات فقد جَعلت مُشاركة الاكتشافات والنَّتائِج على المُستوَى العالميِّ مَسأَلةً بسيطةً سهلةً، ولا يُعجَب إذاً مِن أن أَوَّل شَبكةٍ لِنقل البيانات قد رَبطت مَراكِزَ بحثيَّةً وجامعيَّةً في الولايات المُتَّحِدة الأَمريكيَّة.

ظَهرت شَبكات نقل البيانات في نهاية السِّتينيَّات مِن القَرن العشرين، ما إن توافرت التَّقانة اللَّازِمة لِنجاحها، ولكنَّ تطوُّرَها اللَّاحِق، وتحوُّلها مِن المبادِئ النَّظريَّة إلى التَّطبيق العمليِّ احتاج عقداً آخرَ مِن الزَّمن. في هذه الفترة، وَضَع الرُّوَّاد المُطوِّرون فلسفةً خاصَّةً تُحدِّد نهج عمل الشَّبكة وإمكانيَّة توسُّعها. مع أَنَّه مِن غير المُمكِن اليوم معرفة فيما لو تَطلَّع هؤلاء الرُّوَّاد إلى عالَمٍ مُتَّصِلٍ مُتشابِكٍ مُشابِهٌ لِلواقِع المُعاش أم لا، فإنَّ الأَكيد، مِن غير أَدنَى شكٍّ، أَنَّ شَبكات البيانات الحديثة كُلَّها، قائِمةٌ دائِمةٌ على تلك المبادِئ وذلك النَّهج الَّذي وَضَعه الجيل الأَوَّل.

ومَعنَى ما سَبق أَنَّ الإنترنِت ليست إلَّا رَأس جبلٍ جليديٍّ ضَخمٍ لا تُرَى مِنه إلَّا القِمَّة فقط، وأَمَّا السَّواد الأَعظم مِن الجهود المَبذُولة في تطويرها وإيصالها لما هي عليه فهي حبيسة آلافٍ مِن الدِّراسات والأَوراق البحثيَّة، ولا يَكاد مُستخدِم الشَّبكة اليوم يُدرِكُ مِنها شيئاً. ولِشدَّة سُرعة تطوّر التِّقنيَّات ذوات الصِّلة بالإنترنِت، فإنَّ الاطِّلاع على هذه الدِّراسات والبحث فيها بات في إطار الأَبحاث التَّاريخيَّة أَكثرَ مِن كَونه شَأناً يَختصُّ بمسأَلةٍ تقنيَّةٍ مُعاصِرةٍ، ولا غرابة إذاً في وُجود باحِثين مُختصِّين في تاريخ تقانة المَعلُومات ولا في مَتاحِفَ مُخصَّصَةٍ لِهذا الشَّأن.

هذا فصلٌ يَبحَث في تاريخ شَبكات البيانات، وفي الفلسفة الكامِنة وراء تصميمها، وهُو مَدخَلٌ لا بُدَّ مِن عُبُوره لِفهم الآليَّة النَّاظِمة لِعملها وأَساسٌ يَرتكِز عليه الفصل الثَّاني مِن هذا الكِتاب. بالإضافة لِذلك، فإنَّ هذا الفصل وما فيه مِن اصطلاحاتٍ هُو دعامةٌ رَئِيسةٌ لِفهم ما سيَلي مِن أَقسامٍ وفُصولٍ لاحِقةٍ بعد ذلك. يُقسَّم هذا الفصل إلى قِسمين: مُقدِّمةٌ فيها المبادِئ والأَفكار المُجرَّدة المُستعمَلة في بناء نماذجَ لِشَبكات البيانات، ثُمَّ عَرضٌ مُفصَّلٌ لِنَمُوذَجين لِلشَّبكات هُما نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة ونَمُوذَج الإنترنِت.

مفاهيمُ مُجرَّدةٌ

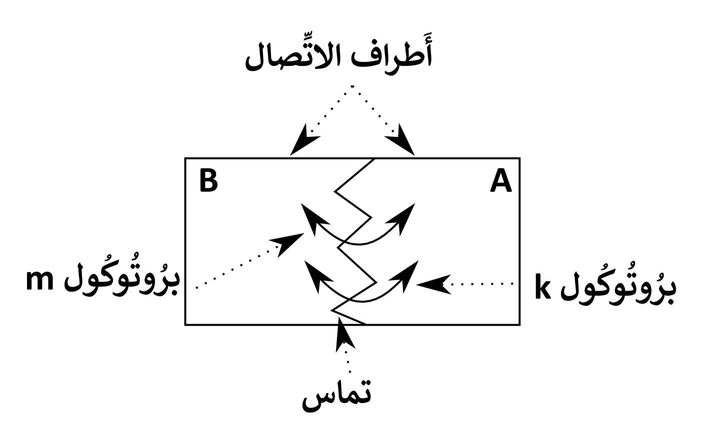
أَطراف الاتِّصال

وظيفة شَبكة البيانات الرَّئِيسة هي دَعم وتوفير السُّبل لِتبادل البيانات بين طَرفين على الأَقلِّ، يُسمَّى أَحدهما مَصدَر البيانات، وهُو الطَّرف الَّذي يُرسِلها، ويُسمَّى الآخر وِجهة البيانات وهُو هدفها النِّهائِيُّ.

لِيَكُونَ التَّعاون بين الطَّرفين مُمكِناً، لا بُدَّ مِن وجُود طريقةٍ للتَّفاعُل بينهما، ويُمكِن وصف هذا التَّفاعُل بأَنَّه تغييرٌ يَحصُل في أَحدهما نتيجة فعلٍ أَنجزه الطَّرف الآخر، وهذا يَعنِي وجُود آليَّةٍ لِلتَّأَثير المُتبادَل يُمكِن تمثيلها بخطٍّ تماسٍ يُمثِّل الحدَّ

الفاصِل بين الطَّرفين. بالنِّسبة لِكُلِّ طرفٍ، فإنَّ التَّماس هُو مَعبَرٌ لمَجمُوعة الأَفعال الَّتي يُمكِن أَن يُمارِسها تجاه الطَّرف الآخر، ولِمَجمُوعة الأَفعال الَّتي يُمكِن أَن يُمارِسها الطَّرف الآخر نَحوَه أَيضاً.

يَقُود التَّوصيف السَّابِق إلى تعريف البرُوتُوكُول، وهُو مَجمُوعةٌ مِن القواعِد المُتَّفق عليها بين أَطراف الاتِّصال، وهي تُدير، بطريقةٍ مُحدَّدةٍ، عمليَّة إنجاز مُهمَّةٍ واحِدةٍ أَو أَكثَر مِن المهام اللَّازِمة لِإنجاح الاتِّصال، والَّتي يُشار إليها باسم الخِدمة. بكلماتٍ أُخرَى، يُمكِن تعريف البرُوتُوكُول بأَنَّه عَلاقةٌ بين طرفين أَو أَكثر مِن أَجل أَداء خِدمةٍ ما في الشَّبكة أَداءً مُحدَّداً. وإِذا أَراد الطَّرفان إنجاز أَكثَر مِن خِدمةٍ في الوقت عَينِه استعملا أَكثَر مِن برُوتُوكُولٍ. ويُظهِر الشَّكل (1-1) المَفهُوم السَّابِق، ويَظهَر فيه برُوتُوكُولان، هُما k وm، يَربُطان بين طَرفي اتِّصالٍ هُما A وB.



الشَّكل (1-1): تمثيلٌ مُبسَّطٌ لِطرفي اتِّصال

تنظيم الخِدمات والبرُوتُوكُولات

يَعتمِد تنظيم الخِدمات في الشَّبكة على كيفيَّة إنجاز كُلٍّ مِنها. فإذا كانت الخِدمة مُقدَّمةً في طَرف اتِّصال وحيدٍ، فإنَّها تُوصَف بأَنَّها خِدمة مَركزيَّةً، أَمَّا لو تَطلَّب إنجازُها تَدخُّل أَكثَر مِن طرفٍ فإنَّها تُسمَّى خِدمةً مُوزَّعةً. على سبيل المثال، مُراقبةُ وَسط الاتِّصال تحسُّباً لِاستقبال رزم البيانات هي خِدمةٌ بَسيطةٌ تَحصُل في كُلِّ طَرفٍ على حِدة، ومِثلُها تَنسيقُ البيانات قبل إرسالها عبر الشَّبكة، فكُلُّ طَرفٍ يُنسِّق البيانات ويُعدُّها بالشَّكل المُناسِب لِلإرسال وَحده ومِن غيرِ تَدخُّل الأَطراف الأُخرَى. أَمَّا نقل البيانات عبر الشَّبكة فهي خِدمةٌ مُعقَّدة لِأَنَّها تَتَطلَّب تفاعُلَ طَرفين على الأَقلِّ هُما مَصدَر البيانات ووِجهتها بالإِضافة لِأَيِّ عُقدةٍ وسيطةٍ مَوجُودةٍ على المَسار الَّذي ستَسلُكه.

وبعضٌ مِن الخِدمات، نحو التَّوجيه[21]، هي مِثالٌ عن خدمةٍ شَبكيَّةٍ قد تَكُون مُوزَّعةً أَو مَركزيَّةً. فقد يَجمَع طَرفٌ واحِدٌ البيانات عن الشَّبكة ثُمَّ يُنجِز الحسابات الرياضيَّة لِتحديد أَفضل المَسارات نَحوَ كُلِّ وِجهةٍ مُمكِنةٍ في الشَّبكة، ثُمَّ يُعمِّم هذه الحِسابات على عُقَد الشَّبكة كُلِّها، وسيَكُون التَّوجيه عندها خِدمةً مَركزيَّةً. وقد تُجري كُلُّ عُقدةٍ في الشَّبكة، عند حاجتها، الحسابات اللَّازِمة لِتحديد المَسارات الَّتي تُريدها فقط، وهكذا فإنَّ الوظيفة تُصبِح مُوزَّعةً تُنجِزها أَطرافٌ مُتعدِّدةٌ في الشَّبكة.

[21] أَصل الاسم Routing هُو إرشادُ رِزمة بياناتٍ إلى المَسار الَّذي ستَسلُكه مِن مَصدَرها إلى وِجهتها (انظر ص. 333 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع).

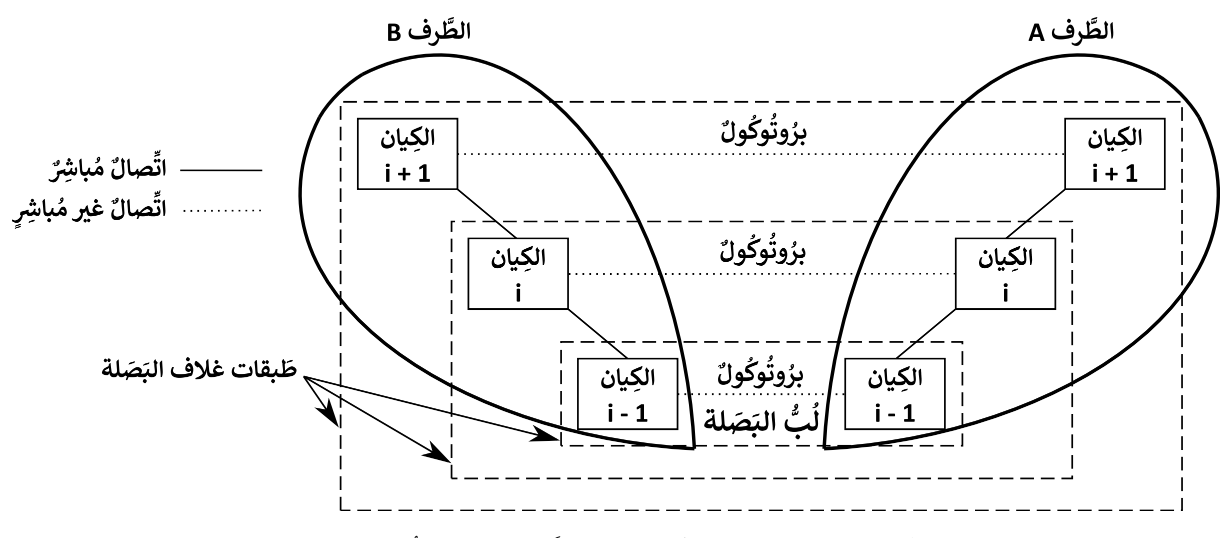
وسواء كانت الخِدمة مَركزيّةً أو مُوزّعةً، فإنّ البرُوتُوكُولات، عبر أدائِها مَجمُوعةً مِن الوظائِف، هي الّتي تُحدِّد الآليّات اللّازِمة لِتقديم الخِدمة والكيفيّة الّتي تُقدَّم بها.

تُناقِش الفقرات التّالِية العَلاقة بين الطّرفيّات والبرُوتُوكُولات مِن خلال وصف بِنية نَمُوذَجين لِشَبكات البيانات هُما:[22]

- النّمُوذَج مُتعدِّد الطّبقات
- نَمُوذَج التّحكُّم بين الطّرفيّات

النّمُوذَج مُتعدِّد الطّبقات

تُعامَل الشّبكة في هذه النّمُوذَج مُعامَلة بَصَلةٍ ذات قِشرةٍ مُتعدِّدة الطّبقات، ويُشبَّه كُلُّ طَرفٍ بِمحورٍ يَختِرق طَبقات البَصَلة كُلِّها وُصُولاً إلى مَركَزِها الّذي يُمثِّل وسط الاتِّصال (الشكل (1-2)). يَنقسِم كُلُّ طَرفٍ إلى عَدَدٍ مِن الكِيانات أو الأَنظمة الفَرعيّة الّتي يُؤدِّي كُلٌّ مِنها خِدمةً واحِدةً مُحدَّدةً أو أكثر، ويَتموضَع كُلُّ كِيانٍ على المِحور في طَبقةٍ مِن طَبقات البَصَلة، ويَتّصل اتِّصالاً مُباشِراً مع الكِيانين المَوجُودين في الطّبقتين اللّتان تَقعان أَعلَى وأدنَى الطّبقة حيث يُوجَد، وبشكلٍ غير مُباشِرٍ مع الكِيانات الّتي تَنتمِي لِأطرافٍ أُخرى ولكنّها تَقع في طَبقته نفسِها، وتُدير البرُوتُوكُولات هذه الاتِّصالات غير المُباشِرة.



الشّكل (1-2): بِنية النّمُوذَج مُتعدِّد الطّبقات مِن أجل شَبكة بيانات ثُلاثية الطّبقات

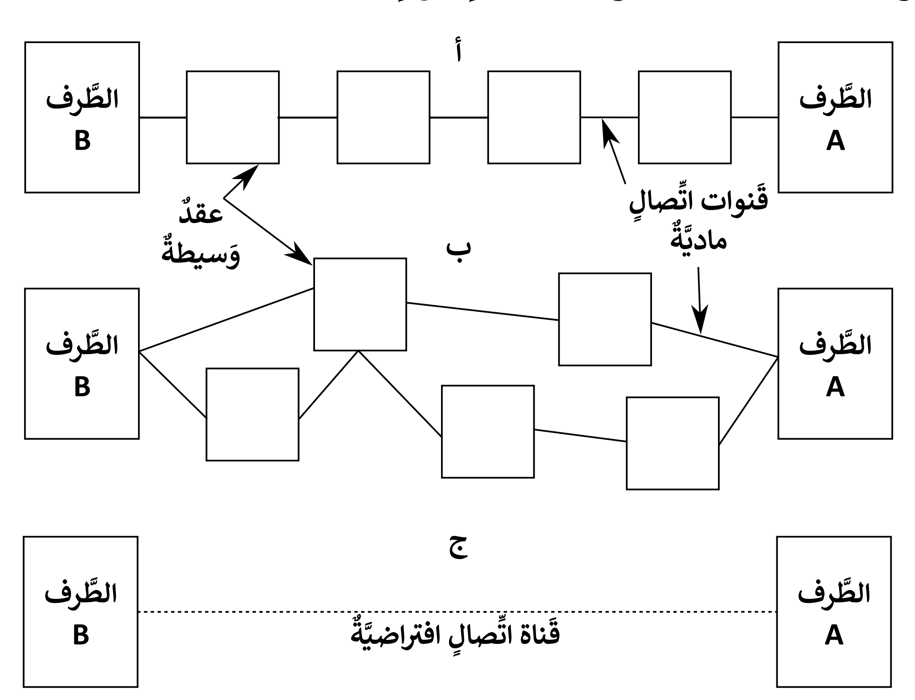
إذا مَثّل النّمُوذَج اتِّصالاً بين طَرفين فقط، فسيُوجَد كَيَانٌ واحدٌ على الأَقلّ في كُلِّ طَبقةٍ مِن أجل كُلِّ طرفٍ، وتَكُون مُهمّة البرُوتُوكُولات هي نَقل البيانات بين هذين الكِيانين. لا يَحصُل النّقل مُباشَرةً لِعدم وجود اتِّصال ماديٍّ بين الطّرفين إلّا في لُبِّ البَصَلة. فعلى سبيل المِثال، لو كان الكِيانان في الطّبقة i مِن النّمُوذَج، فلا بُدَّ أن تمُرَّ البيانات المُراد نَقلُها عبر طَبقات الشّبكة ذوات المَراتِب $i - 1$ و$i - 2$ ... إلخ نُزُولاً إلى اللُّبِّ. ولكنّ الكِيان المَوجُود في الطّبقة i لا يُدرِك العمليّة السّابِقة، ويَكتفِي بَتشغيل البرُوتُوكُول ذِي الصِّلة وبالتّعامل مع الطّبقتين اللّتين تقعان أَعلَى طَبقته وأدناها فقط.

[22] هذا الاسم مِن تعريبنا، وهو يُسمَّى أيضاً نَمُوذَج قِشرة البَصَلة Onion skin model، والآخر End-to-end control model. ولِلمزيد حولهما انظر ص. 45 في [BKF01] في ثَبت المَراجِع.

يَسمَح النَّمُوذَج مُتعدِّد الطَّبقات بإِظهار التَّفاعُلات بين المُكوِّنات المَوجُودة في الطَّرف نفسِه، وبين المَكوِّنات المُوزَّعة على أَطرافٍ عديدةٍ ولكنَّها تَقع كُلَّها في طَبقةٍ وحيدةٍ، ولِذلك، فإِنَّ هذا النَّمُوذَج يُناسِب دراسة تفاعُل البرُوتُوكُولات بعضُها مع بعضٍ ومع أَطراف الاتِّصال المُختلِفة.

نَمُوذَج التَّحكم بين الطَّرفيَّات

هُو نَمُوذَجٌ لِشَبكات البيانات يُركِّز على توضيح العَلاقة الَّتي تَربُط بين طَرفي اتِّصالٍ أَو أَكثر بمَعزِلٍ عن البِنية الماديَّة الَّتي تَصِل بينهما. يُعامِل هذا النَّمُوذَج أَطرافَ الاتِّصال على أَنَّها كِيانات صَمَّاء مُهمَلة التَّفاصيل تَنشَط البرُوتُوكُولات في ما بينها مِن غير الاهتمام بمُكوِّناتها الدَّاخِليَّة. تُنشِئ البرُوتُوكُولات قَنواتٍ افتراضيَّةً بين الأَطراف وتَتبادَل الرَّسائِل عبرها. تَكُون القَنوات مُستقِلَّةً عن البِنية الماديَّة لِلشَّبكة، فقد يَتَّصِل طَرفان معاً بواسطة كَبلٍ طُوله بِضعة أَمتارٍ أَو قد يَتَّصِلان عبر شَبكةٍ تَمتَدُّ لِمئات الكِيلُومِترات، عبر مَسارٍ يَشمُل عُقداً وسطيَّةً، وفي كِلتا الحالَّتين فإِنَّ قَناة الاتِّصال هي نفسُها مِن وجهة نظر هذا النَّمُوذَج، ويُبيِّن الشَّكل (1-3) نَمُوذَج الشَّبكة السَّابِق مع بِنيتين ماديَّتين مُختلِفَتين للشَّبكة.



الشَّكل (1-3): بِنية نَمُوذَج التَّحكم بين الطَّرفيَّات (أ) شَبكةٌ مُتباعِدةٌ ذات بِنيةٍ تَتابعيَّةٍ (ب) شَبكةٌ مُتباعِدةٌ ذاتُ بِنيةٍ مُتعدِّدة المَسارات (ج) نَمُوذَج التَّحكُّم بين الطَّرفيَّات لِلشَّبكتين السَّابِقتين

يُفيد هذا النَّمُوذَج في دراسة عمل برُوتُوكُولٍ مُحدَّدٍ بمَعزِلٍ عن بِنية أَطراف الاتِّصال أَو تعقيد البِنية الماديَّة لِلشَّبكة.

أَمثلةٌ عن نماذجَ لِشَبكات نقل البيانات

يُخصَّص هذا القِسم لِعَرض نَمُوذَجين لِشبكات نقل البيانات، في كُلٍّ مِنهما سَردٌ لِلتَّعاريف الرَّئيسة الَّتي يَعتمِدها، ثُمَّ وصفٌ لِآليَّة عمله، وأَخيراً شَرحٌ مُفصَّلٌ لِبنيته، وأَمَّا النَّمُوذَجان المَدرُوسان فهُما:

- نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة
- نَمُوذَج الإِنترنِت

نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة[23]

هُو نَمُوذَجٌ لِشَبكة بياناتٍ مُكوَّنٌ مِن سَبع طَبقاتٍ مُتراصَّةٍ تُقدِّم كُلٌّ مِنها مَجمُوعةً مِن الخِدمات اللَّازِمة لِإنجاز اتِّصال بين أَطرافٍ مُختلِفة تُسمَّى أَنظمةً مَفتُوحةً، والنِّظام المَفتُوح قد يَكُون حاسُوباً أَو هاتِفاً جَوَّالاً أَو أَيَّ جِهازٍ يُمكِن له أَن يَتَّصل مع شَبكة البيانات مِن غير قُيودٍ.

طُرِح المِعيارُ النَّاظِم لهذا النَّمُوذَج لِلمرَّة الأُولَى في عام 1979م، ثُمَّ عُدِّل مرَّاتٍ مُتعدِّدة لِيُواكِب التَّغيرات الَّتي طَرَأت على أَنظمة الاتِّصالات في السَّنوات اللَّاحِقة. أَمَّا الإصدار الأَحدث فنَتَج عن مُراجَعة المِعيار في عام 1994م، وأُطلِق عليه اسم: النَّمُوذَج المَرجعيُّ الأَساسيُّ، وحمل الاسم الرَّمزيَّ ISO/IEC 7498-1:1994.[24]

تعاريفُ رئِيسةٌ

يُورِد المِعيار الرَّسميُّ لِلنَّمُوذَج التَّعاريف التَّالِية:[25]

- الطَّبقة ذات المَرتَبة N: تقسيمٌ فَرعيٌّ لِبِنية النَّمُوذَج يَضمُّ كِياناتٍ وأَنظمةً فَرعيَّةً، وهي مَوسُومةٌ بمُعرِّفٍ رَقميٍّ مُميَّزٍ: لِيَكُن مَثلاً N. تُقدِّم هذه الطَّبقة خِدماتٍ لِلطَّبقة ذات المَرتَبة $N+1$، أَي الَّتي تَقع فوقها، وتَطلُب خِدماتٍ مِن الطَّبقة الَّتي مَرتَبتها $N-1$، أَي الَّتي تَقع تحتها.
- النِّظام الفَرعيُّ ذو المَرتَبة N: عُنصرٌ في الطَّبقة ذات المَرتَبة N في نِظامٍ مَفتُوحٍ، يَضمُّ كِياناً واحِداً أَو أَكثر، وهُو لا يَتفاعل إلا مع عناصر طَبقته والطَّبقتين ذوَاتَي المَراتِب $N-1$ و$N+1$ في ذلك النِّظام.
- الكِيان: عُنصرٌ في الطَّبقة أَو النِّظام الفَرعيِّ ضِمن نِظامٍ مَفتُوح ما. لِكلِّ كِيانٍ مَجمُوعةٌ مِن الوظائِف، ويُشغِّل برُوتُوكُولاً واحِداً أَو أَكثر مِن برُوتُوكُولات الشَّبكة لِإنجازها.
- البرُوتُوكُول: مَجمُوعةٌ مِن القواعِد والصِّيغ الشَّكلية والنَّحوِيَّة المُتَّفَق عليها بين الكِيانات، والَّتي تُحدِّد شَكل وخصائِص الاتِّصال في ما بينها، قد يُشغِّل كُلُّ كِيانٍ برُوتُوكُولاً واحِداً أَو أَكثر.
- وَحدة بيانات البرُوتُوكُول: المَجمُوعة الأَصغر طُولاً مِن البيانات المُتبادَلة بين كِيانين يَقعان في الطَّبقة نفسِها ويُشغِّلان البرُوتُوكُول نفسَه.
- الخِدمة: هي عَملٌ تُنجِزه عناصرُ طَبقةٍ ما مِن طَبقات النَّمُوذَج المَرجِعيِّ يَهدُف لِإنجاح إِنشاء اتِّصال بين طَرفين أَو أَكثر بغرض نقل البيانات عبر الشَّبكة.

---

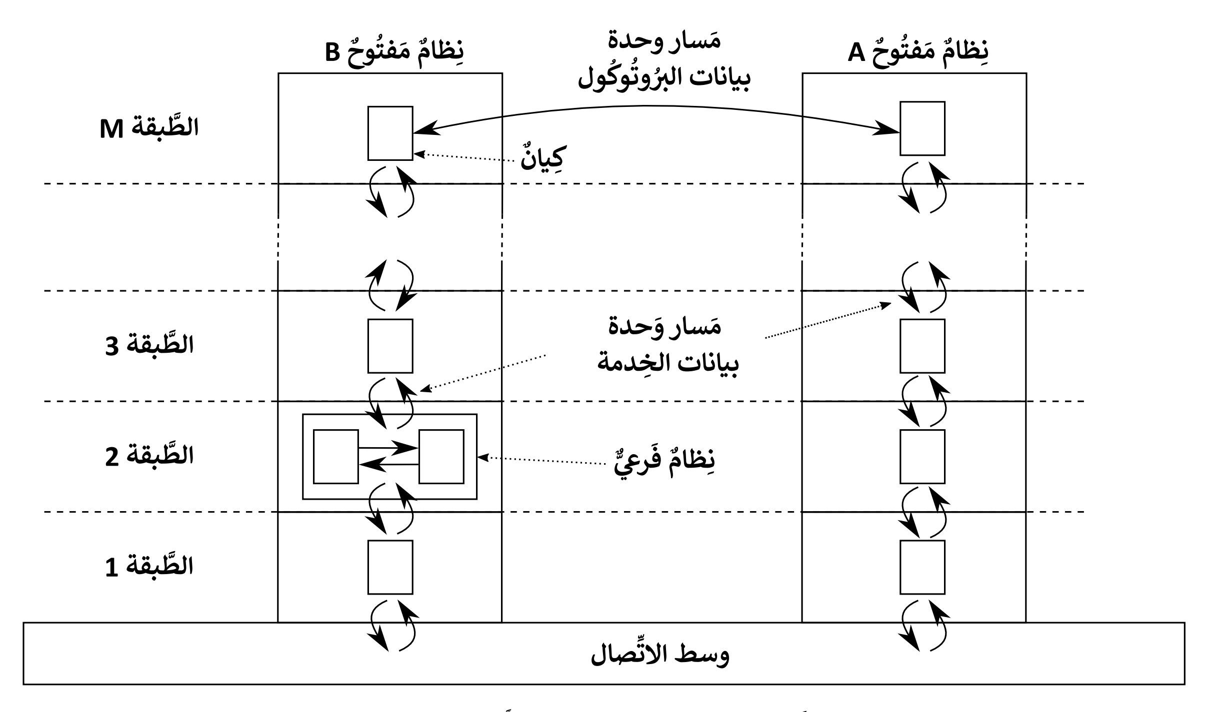
[23] أُختيرت كلمة "مَفتُوحة" بعناية لِتُشدِّد على أَنَّ الوصُول إلى أَيِّ نِظامٍ يَتَّبع هذا المِعيار، مِن أَي نظامٍ آخرَ يَدعَم المِعيار نفسَه، سيَكُون مُتاحاً مِن غير قِيودٍ. لِوصفٍ مُختصَرٍ لِهذا النَّمُوذَج، انظر [ART01] في ثَبت المَراجِع.

[24] وأَصل اسمه Basic Reference Model، ويُسمَّى أيضاً Open System Interconnection اختصاراً OSI. لِلاطِّلاع على هذا المِعيار، انظر [STD01] في ثَبت المَراجِع.

[25] أُصول الأَسماء الطَّبقة Layer والنِّظام الفَرعيُّ Subsystem والكِيان Entity والبرُوتُوكُول Protocol ووَحدة بيانات البرُوتُوكُول Protocol Data Unit، اختصاراً PDU، والخِدمة Service ووَحدة بيانات الخِدمة Service Data Unit، اختصاراً SDU، ونقطة النَّفاذ لِلخِدمة Service Point Access، اختصاراً SAP.

- وَحدة بيانات الخِدمة: هي وَحدات البيانات المُتبادَلة بين كِيانين أو بين كِيانٍ ونِظامٍ فَرعيٍّ يَنتمِي كُلٌّ مِنهما إلى إحدَى طَبقتين مُتتالِيتين ضِمن النِّظام المَفتُوح نفسِه. إذا كانت الوَحدة مَنقُولةً مِن كِيانٍ في الطَّبقة العُليَا إلى كِيانٍ في السُّفلَى فهي تُمثِّل طَلباً لِلحُصُول على خِدمةٍ، وإذا كانت مَنقُولةً مِن الكِيان في الطَّبقة السُّفلَى إلى كِيانٍ في العُليا فهي تُمثِّل استجابةً لِطَلبٍ سابِقٍ لِلحُصُول على خِدمةٍ ما.
- نُقطة النَّفاذ لِلخِدمة: هي وَاجِهةٌ في طَبقةٍ ذات مَرتَبةٍ N نَحوَ طَبقةٍ أعلَى ذات مَرتَبةٍ $N+1$. يَطلُب كِيانٌ أو نِظامٌ فَرعيٌّ في طَبقة عُليَا الحُصُول على خِدمة تُقدِّمها طَبقة سُفلَى مِن خِلال أحد كِياناتها أو أنظمتها الفَرعيَّة عبر هذه النُّقطة.

يَعرُض الشَّكل (1-4) بِنيةً عامَّةً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة مع توضيحٍ لِمواقع المُكوِّنات الرَّئيسة فيه وأسمائِها، ويَظهَر فيه نِظامان مَفتُوحان، يَربُطهما وَسط اتِّصال، يَضمَّان M طَبقةً، في كُلٍّ مِنها كِيانٌ واحِدٌ على الأقلِّ يَتَّصِل مع الكِيان المُقابِل له في النِّظام الآخر عبر بِرُوتُوكُول اتِّصالٍ.



الشَّكل (1-4): بِنية نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة

وصف العمل

يَهدُف استعمال نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة إلى إزالة أيِّ عوائِقَ تقنيَّةٍ قد تَمنَع الاتِّصال بين نِظامين مَفتُوحين أو أكثرَ، سواء كانا مُتشابِهين أو مُختلِفين في البِنية الدَّاخليَّة، أي أنَّ النَّمُوذَج لا يَهتَمُّ بوصف العمليَّات الدَّاخِليَّة الخاصَّة بالأَنظمة، ولكنَّه يُركِّز على تبادل البيانات في ما بينها.

يَعتمد النَّمُوذَج، مِن أَجل توصيف عمليَّة التَّبادل السَّابِقة، على مَجمُوعةٍ مِن التِّقنيَّات لإنتاج بِنيةٍ ذات وَحداتٍ مِعياريَّةٍ[26] يَتراكب بعضُها مع بعضٍ. يَتميَّز نهج الوَحدات المِعياريَّة المُتراكِبة بقدرته على توصيف بِنىً مُعقَّدةٍ توصيفاً مُتكامِلاً ودَقيقاً

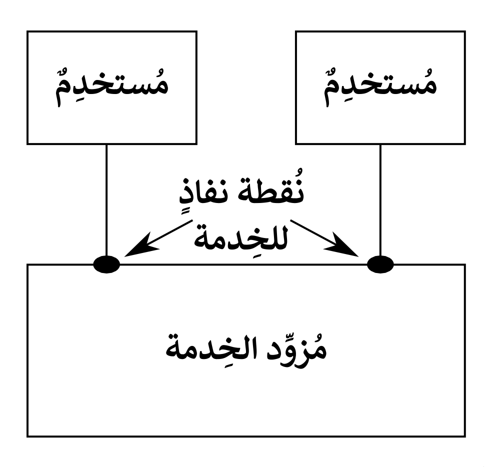
[26] أصل الاسم Module.

مِن خلال تقسيم النِّظام الكُلِّيِّ إلى أَنظمةٍ فَرعيَّةٍ ذاتِ امتدادٍ يُمكِن التَّحكُّم به. بالإضافة لِذلك، يَسمَح هذا النَّهج بإدخال تقنيَّاتٍ جديدةٍ دوريَّاً على هيئَة وَحداتٍ جديدةٍ، أَو تحديث وَحداتٍ مُحدَّدَةٍ لِتتوَافق مع مَعدَّاتٍ أَو برمجيَّاتٍ مُستحدَثةٍ مِن غير الحاجة لِتعديل النِّظام بأَكمله.

يَلزَم، لِفهم كيفيَّة عمل النَّمُوذَج، التَّعرُّف على أَربعة مَفاهِيمَ رَئِيسةٍ هي الخِدمة ومَنافَذ الوصُول إليها والبِنية الطَّبقيَّة والبرُوتُوكُولات، وتُناقِش الفقرات التَّالية هذه المَفاهِيم وتَشرحها باختصارٍ.[27]

يُقسِّم النَّمُوذَج عمليةَ الاتِّصال إلى مراحلَ مُتتابِعةٍ تُنفَّذُ عبرَ مَجمُوعةٍ مِن البِنى المُجرَّدة الَّتي تُسمَّى الطَّبقات، في كُلٍّ مِنها مَجمُوعةٌ مِن الكِيانات والأَنظمة الفَرعيَّة، وتعرَّف حدود الطَّبقات اعتماداً على الخِدمات الَّتي تُقدِّمُها مُكوِّناتها، أَي أَنَّ انتماء كِيانٍ مُحدَّدٍ لِطَبقةٍ ما دون أُخرَى يَتحدَّد بالخِدمة الَّتي يُقدِّمها. تَتَراصُّ الطَّبقات بعضُها فوق بعضٍ وتُمثِّل الحدود الفاصِلة بين الكِيانات خُطُوط التَّماس بينها.

أَمَّا الخِدمة فهي إنجاز كِيانٍ ما لِعملٍ مُحدَّدٍ استجابةً لِطَلب كِيانٍ آخرَ. يُسمَّى الكِيان الَّذي يُقدِّم الخِدمة بمُزوِّد الخِدمة أَو المُزوِّد اختصاراً، أَمَّا الطَّرف الَّذي يُطلُب الخِدمة فيُسمَّى طالِب الخِدمة أَو المُستخدِم اختصاراً.[28] وأَمَّا نقطة التَّفاعُل بين المُستخدِم والمُزوِّد فهي نقطة النَّفاذ لِلخِدمة. يُمكِن أَن يَكُون لِخِدمةٍ ما أَكثرُ مِن مُستخدِمٍ في الوقت نفسِه، ويُبيِّن الشَّكل (1-5) نَمُوذَج الخِدمة السَّابِق.



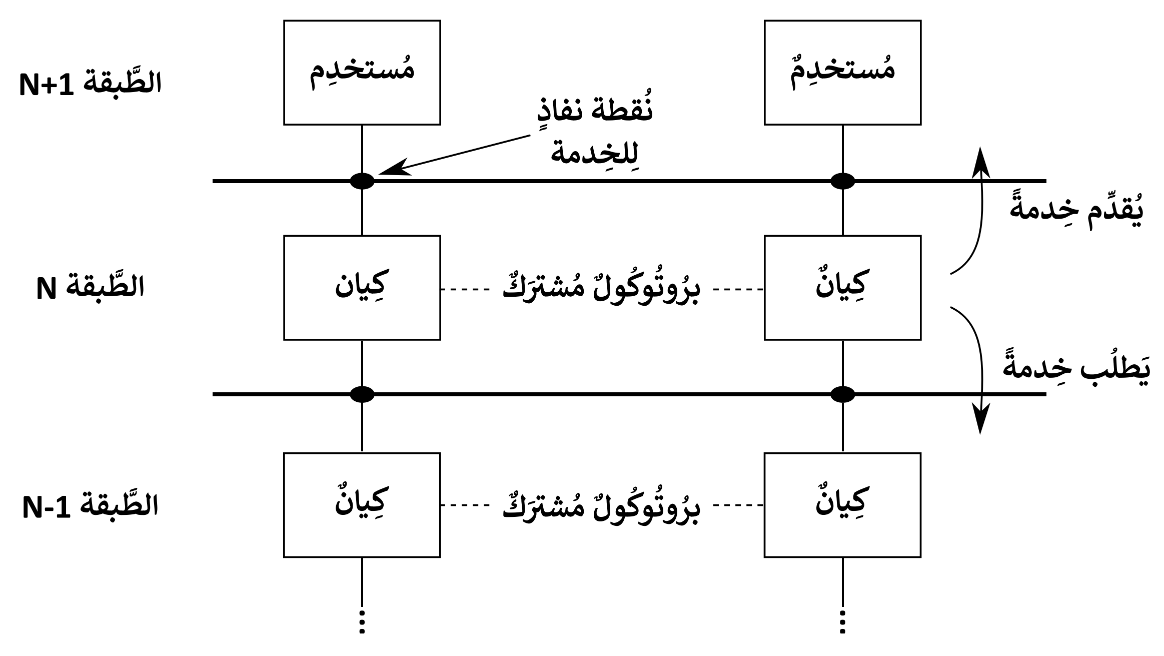
الشَّكل (1-5): الخِدمة تَبعاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة

يُمثِّل نِظام اتِّصالٍ بين طَرفين بثلاثة كِياناتٍ: هُم مُستخدِمان ومُزوِّد خِدمةٍ. يَطلُب المُستخدِمان مِن مُزوِّد الخِدمة ربطهما معاً مِن غير الاهتمام بالتَّفاصيل اللَّازمة لِإنجاز ذلك. بالنِّسبة لِكُلِّ مُستخدِمٍ، فإِنَّ مُزوِّد الخِدمة هُو وَسيلةٌ لِلاتِّصال لو احتاجه. أَمَّا مُزوِّد الخِدمة فيَضمُّ بِنيةً طَبقيَّةً مُتعدِّدة المُستوَيات، تَحوِي في أَبسط أَشكالها كِياناً وَاحِداً في كُلِّ طَبقةٍ مِن أَجل كُلِّ مُستخدِمٍ. يَتصل الكِيان المَوجُود في أَعلى طَبقةٍ مع المُستخدِم مُباشَرةً ويُقدِّم له خِدمة الاتِّصال، وفي الوقت نفسِه، فإِنَّه يُعالِج طَلبه ويَطلُب خِدمةً واحِدةً أَو أَكثرَ مِن الكِيانات الواقِعة في الطَّبقة التَّالِية هُبُوطاً في النَّموذَج، وهكذا تُقدِّم الكِيانات الواقِعة في كُلِّ طَبقةٍ خِدماتها للكِيانات الواقِعة في الطَّبقة العُليَا التَّالِية وتَطلُب في الوقت عينِه خِدمات

[27] لمزيدٍ من المعلومات انظر [ART02] في ثَبت المَراجِع.

[28] أَصل الاسمين مُزَوِّد الخِدمة Service provider، وطالِب الخِدمة Service user.

الكِيانات الواقِعة في الطَّبقة السُّفلَى السَّابِقة، أَي يُصبِح الكِيانان في الطَّبقة ذات المَرتِبة N مُستخدِمان لِلخِدمة المُقدَّمة مِن الطَّبقة الَّتي مَرتَبتها $N-1$ (الشَّكل (1-6)).



الشَّكل (1-6): البرُوتُوكول وتقديم الخِدمة عبر الطَّبقات المُتتابِعة تَبعاً نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة

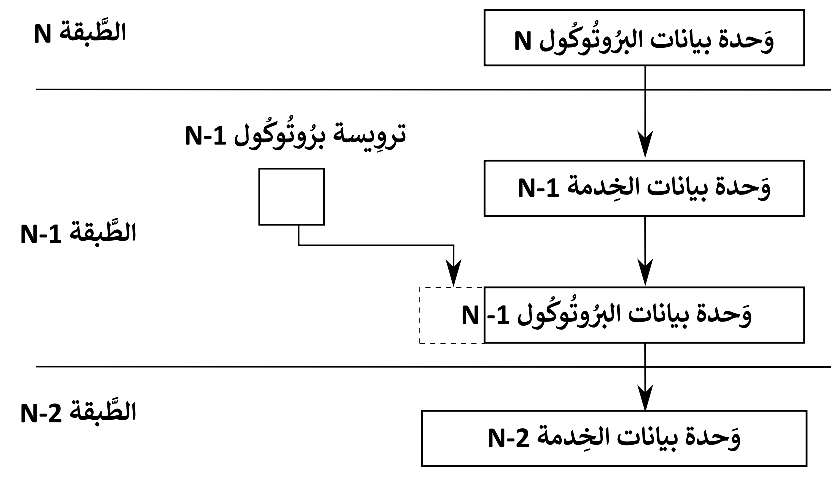
يَتواصَل كُلُّ كِيانين يَقعان في الطَّبقة نفسِها، ولكن في طَرفين مُختلِفين باستعمال برُوتُوكولٍ مُشترَكٍ يَنشُط فيهما ويُعرِّف مَجمُوعةً مِن الرَّسائِل الَّتي يَتبادلانها. ومع أَنَّ مَسار الرَّسائِل الحقيقيِّ يَمرُّ عبر الطَّبقات الدُّنيا كُلِّها، فإنَّ هذا المَسار لا يَعنِي الكِيانين، فالاتِّصال، بالنِّسبة لهما، يَجرِي مُباشَرةً وعبر قَناةٍ افتراضيَّةٍ تَصِل بينهما مِن غير إدراكهما لِآليَّة إنجاز هذه القِناة الَّتي تَكُون مَسؤُوليَّة الكِيانات في الطَّبقات السُّفلَى.

يَتبادل كُلُّ كِيانين يَقعان في الطَّرف نفسِه في طَبقتين مُتتالِيتين مَرتَبتهما N و$N-1$ وَحدات بيانات الخِدمة بمُقتضَى حاجتهما. ويُعرِّف مِعيار النَّمُوذَج عمليَّة تَغلِيف البيانات[29] في طبقةٍ مَرتَبتها $N-1$ بأنَّها إضافةُ تَروِيسة[30] البرُوتُوكول العامِل في الطَّبقة ذات المَرتَبة $N-1$ إلى وحدة بيانات الخِدمة القادِمة مِن الطَّبقة ذات المَرتَبة N ويُفَكُّ التَّغليف فكَّاً مُعاكِساً بين أَيِّ طَبقتين مُتتالِيتين مَرتَبتهما $N-1$ وN . ويُظهِر الشَّكل (1-7) عملية التَّغلِيف كما يُعرِّفها نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة.

---

29 يَستَعمِلُ مِعيار نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ للأَنظمة المَفتُوحة الكَلِمتان Recombining وSplitting مِن أَجل الإشارة إلى التَّغلِيف وفكِّ التَّغلِيف على التَّرتيب، ولكن الكلِمتان المُستعمَلتان للإشارة إلى هاتين العمليَّتين على نطاقٍ واسِعٍ في أَدبيات شبكات البيانات اليوم هُما: Encapsulation وDecapsulation.

30 أَصل الاسم Header هي مَعلُوماتٌ تحكُّمٍ، نحو عُنوان المَصدَر أَو عُنوان الوِجهة، يُضيفها برُوتُوكولٌ ما إلى المَوقِع الَّذي يَسبِق بداية البيانات المَنقُولة بين طَرفي الاتِّصال (انظر ص. 166 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع). أُشير لِلتَّروِيسة في مِعيار نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحةً باستعمال الوَصف التَّالِي: مَعلُومات التَّحكُّم الخاصَّة بالبرُوتُوكُول Protocol control information.



الشَّكل (1-7): التَّغليف تَبعاً لِنَمُوذَج الاتِّصال البينيّ لِلأنظمة المَفتُوحة

بنية النَّمُوذَج

يَتكوَّن نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأنظمة المَفتُوحة مِن سَبع طَبقاتٍ، وهي، وَفقاً لِترتيبها، مِن الأَعلى إلى الأَسفل: التَّطبيق والتَّمثيل والجَلسَة والنَّقل والشَّبكة والوَصلة والماديَّة. تُرقَّم هذه الطَّبقات بدءاً مِن الواحِد وهُو رَقم الطَّبقة الماديَّة، ويُزداد رَقم الطَّبقة بمِقدَار واحِدٍ صُعُوداً في الطَّبقات حتَّى طَبقة التَّطبيق الَّتي تَحمل الرَّقم سَبعة. يُمكِن أن يُشار إلى كُلِّ طَبقةٍ برَقمها مِن غير الحاجة لِذِكر اسمها صَراحةً، فيُقال مَثلاً: الطَّبقة الثَّالِثة بدلاً مِن طَبقة الشَّبكة أو الرَّابِعة بدلاً مِن طَبقة النَّقل.

يَضمُّ الجدول (1-1) مَعلُوماتٍ مُختصَرةً عن كُلِّ طَبقةٍ وخِدماتها بدءاً مِن الطَّبقة العُليَا أي طَبقة التَّطبيق.

الجدول (1-1): طَبقات نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة[31]

رَقم الطَّبقة	اسم الطَّبقة	الوصف
7	التَّطبيق	أَعلى طَبقةٍ في النَّمُوذَج، لذلك لا منافذَ فيها نَحو طَبقاتٍ أَعلى، ولكنَّها تُؤَمِّن مَنافِذَ لِلتَّطبيقات الَّتي تَحتاج لإرسال البيانات عبر الشَّبكة. الطَّبقة الوحيدة الَّتي تَتفاعل مع التَّطبيقات ويُمكِن لها أن تَخدُم أكثرَ مِن تطبيقٍ في الوقت نفسِه. تَدعَم طَبقة التَّطبيق الخِدمات التَّالِية: • التَّعرُّف على التَّطبيقات الَّتي تَحتَاج لِلاتِّصال عبر الشَّبكة • تَحديد جُودة الخِدمة المَطلُوبة • تَحديد الطَّرف المَسؤُول عن تصحيح الأَخطاء في حال وقُوعها

[31] لمزيدٍ مِن المَعلُومات عن الطَّبقات انظر في ثَبت المَراجِع: [ART03] مِن أَجل التَّطبيق، و[ART04] مِن أَجل التَّمثيل و[ART05] مِن أَجل الجَلسَة و[ART06] مِن أَجل النَّقل و[ART07] مِن أَجل الشَّبكة و[ART08] مِن أَجل الوَصلة و[ART09] مِن أَجل الطَّبقة الماديَّة.

		• التَّوافُق على مَبادِئ الأَمن الَّتي تَحمِي الاتِّصال (المُصادَقة وسَلامة البيانات ... إلخ) • تَأمين الوصُول إلى خِدمات طَبقة التَّمثيل
6	التَّمثيل	توحيد أُسلُوب عَرض البيانات الَّتي تَرغب كِيانات طَبقة التَّطبيق بتبادُلها مِن خلال تعريف طريقةٍ مُشترَكةٍ لِإنجاز عمليَّة التَّبادُل. يُمكِن اختصار خِدمات هذه الطَّبقة بما يَأتي: • تَرمِيز البيانات • تَأمين الوصُول إلى خِدمات طَبقة الجَلسَة
5	الجَلسَة	تنظيم ومُزامَنة جَلسَات تبادُل البيانات لِكِيانات طَبقة التَّمثيل. وتَنحَصِر الخِدمات الَّتي تُقدِّمها هذه الطَّبقة بما يلي: • إنشاء جَلسَاتٍ تبادل البيانات وإِنهائِها بين كِياني طَبقة تمثيلٍ • تحديد ازدواجيَّة الاتِّصال: كامِلٌ أو جُزئِيٌّ[32] • تَأمين الوصُول إلى خِدمات طَبقة النَّقل
4	النَّقل	تُؤمِّن عمليَّة نقل البيانات بين كِيانين مِن طبقة الجَلسَة عبر قناةٍ افتراضيَّةٍ تَربُط بين طَرفي الاتِّصال[33] وتَكُون مُستقلَّةً عن المَسار الماديِّ الَّذي تَسلُكه البيانات عبر الشَّبكة وعن مُعدَّل النَّقل في الوَصلات أو أَيِّ مَسائِلَ أُخرَى مُرتَبِطة بالتَّوجيه. تَدعَم هذه الطَّبقة الخِدمات التَّالِية: • تعريف كُلِّ جَلسَةٍ تعريفاً فَريداً • إِنشاءُ قَنواتٍ بين أَطراف الاتِّصال وإِنهاؤها[34] • تَأمين الوصُول إلى خِدمات طَبقة الشَّبكة

[32] في شبكات البيانات، الازدواج duplex هُو القُدرة على إرسال واستقبال البيانات عبر قَناة اتِّصال واحِدةٍ في الوقت نفسِه، ويُشار إليه أَيضاً بالازدواج الكامِل Full duplex، تميزاً له عن الازدواج الجُزئِيِّ Half duplex الَّذي يَسمَح بإرسال واستقبال البيانات عبر قناة الاتِّصال شَرط أَلَّا يَحصُل ذلك في الوقت نفسِه، بل في أَوقاتٍ مُتمايزةٍ (انظر ص. 123 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع). وَردت مُعرَّبةً في ص. 101 في [BKA01] إلى "ازدواجيَّة الاتِّجاه"، وعُرِّفت على أَنَّها «صِفةٌ لِوصلةٍ ماديَّةٍ أَو مَنطِقيَّةٍ تَنقُل البيانات في الاتِّجاهين معاً».

[33] في هذه الطَّبقة يُطبَّق مَبدَأ الطَّرفين End-to-end principle، وهُو مَفهُوم بِنيويٌّ مُجرَّد مُستعمَلٌ في تصميم شَبكات البيانات وتطبيقاتها. يَلزَم، وَفقاً لِهذا المَبدَأ، أَن تَعمَل التَّطبيقات في الطَّرفيّات لا في العُقَد الوسيطة الَّتي تُشكِّل بِنية الشَّبكة، سَبق هذا المَبدَأ مَفهُوم حِياد الإنترنِت ومهَّد له. لِلمزيدِ حول هذا المَبدأ انظر [ART10] و[RFC3724] في ثَبت المَراجِع.

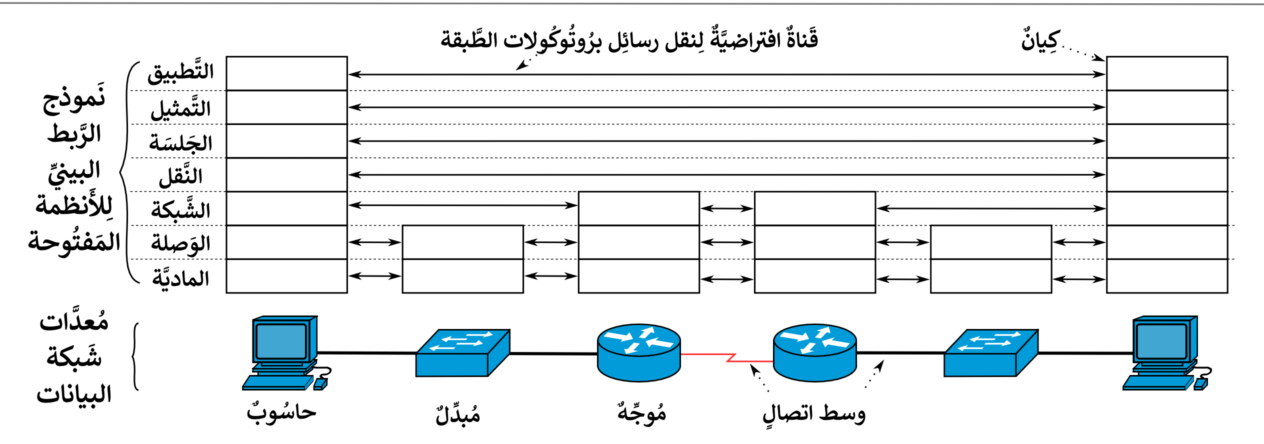
[34] بعضٌ مِن البرُوتُوكُولات العامِلة في هذه الطَّبقة تُدِير الاتِّصال أَيضاً، نَحوُ برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل، انظره [RFC793] في ثَبت المَراجِع.

3	الشَّبكة	بدء تطبيق الخِدمات والبرُوتُوكُولات الَّتي تَعمَل عبر مَسارات الشَّبكة الماديَّة بين الأَنظمة. تُقدِّم هذه الطَّبقة الخِدمات التَّالِية: • عَنونة كِيانات طَبقة الشَّبكة العامِلة في الأَنظمة المُختلِفة عنونةً مِعياريَّةً فَريدةً • ضَبط جُودة الخِدمة • التَّحقُّق مِن وُجُود أَخطاءٍ في البيانات المُتبادَلة • تقطيع البيانات، أَي تقسيم ما يَرِدُ مِن طَبقة النَّقل إلى قِطعٍ ذات طُولٍ قصيرٍ لِتسهيل نقلِها عبر الشَّبكة • تَوجِيه رِزَم البيانات • التَّحكُّم بالتَّدفُّق • تَأمين الوصُول إلى خِدمات طَبقة الوَصلة
2	الوَصلة	تُؤَمِّن وسيلة تواصُلٍ لِكيانات طَبقة الشَّبكة مِن أَجل إنشاء اتِّصالٍ وإدارته وإنهائِه في ما بينها. بالإجمال، تُقدِّم هذه الطَّبقة الخِدمات التَّالِية: • التَّبديل[35] أي نَقلُ وحدات بيانات البرُوتُوكُول بين كِيانين مِن طَبقة الوَصلة مَوجُودين في نِظامين مُختلِفين. • عَنونة كِيانات طَبقة الوَصلة • تَأمين الوصُول إلى خِدمات الطَّبقة الماديَّة
1	الماديَّة	تأمين الآليَّات والإجراءَات الكهرُبائِيَّة والمِيكَانِيكيَّة المُناسِبة لِتفعيل الدَّارات الماديَّة الَّتي تُنقَل البيانات عبرها والحِفاظ عليها في حالة النَّشاط وتحريرها بعد نهاية الاتِّصال

يُستعمَل نَمُوذَج الرَّبط البينِيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة لِوصف مُعدَّات الشَّبكة أَيضاً، ولمَّا كان وَصفُ المَساراتِ الماديَّة والبرُوتُوكُولات الَّتي تميِّزُها لا يَبدَأ إلَّا في الطَّبقة الثَّالِثة ونُزُولاً في النَّمُوذَج، فإنَّ نماذج مُعدَّات الشَّبكة تَكُون في الأَغلب مَحصُورةً في الطَّبقات الثَّلاثة الأُوَل، فمَثلاً يَمتدُّ نَمُوذَج المُوجِّه على الطَّبقات الثَّلاثة الأُوَل، ونَمُوذَج المُبدِّل على أَوَّل طَبقتين في حين يَكُون نَمُوذَج المُوزِّع مَحصُوراً بالطَّبقة الماديَّة فقط.[36] ويُبيِّن الشَّكل (1-8) شَبكة بياناتٍ تَحتَوي حاسُوبين ومُبدِّلين ومُوجِّهين ومَجمُوعةً مِن الأَسلاك ونمذَجَتُها باستعمال نَمُوذَج الرَّبط البينِيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة مع افتراض وجُود كِيانٍ واحِدٍ فقط في كُلِّ طَبقةٍ في المُعدَّات المُستعمَلة كُلِّها لِغرض التَّبسيط.

[35] أُشير إليه في المِعيار باستعمال الكَلِمة Relaying، ويُشار له في أَدبيات شبكات البيانات اليوم باستعمال كلِمة Switching.

[36] أُصول الأَسماء المُوجِّه Router، والمُبدِّل Switch، والمُوزِّع Hub.



الشَّكل (1-8): نَمذَجة شَبكة بيانات باستعمال نَموذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة

يُمكِن أن تُستعمَل أرقام الطَّبقات أيضاً لِوصف مُعدَّات الشَّبكة أو برُوتُوكُولاتها. فعلى سبيل المِثال، يُوصَف المُوجِّه بأنَّه أداةٌ تَعمَل في الطَّبقة الثَّالِثة مِن النَّمُوذَج السَّابِق، في حين يُوصَف المُبدِّل بأنَّه يَعمَل في الطَّبقة الثَّانِية مِن النَّمُوذَج نفسِه. تُسمَّى بعض البرُوتُوكولات أيضاً وَفقاً لِأرقام الطَّبقات الَّتي تَعمل فيها، مَثلاً: برُوتُوكول الأنفاق في الطَّبقة الثَّانية[37] الَّذي يَنشَط في طَبقة الوَصلة.

نَموذَج الإنترنِت[38]

هُو نَموذَجٌ مُجرَّدٌ يَصِف كيفيَّة تبادُل البيانات في الإنترنِت وفي شَبكات بياناتٍ أُخرَى. يُعامِل النَّمُوذَج شَبكة البيانات على أنَّها مَجمُوعةٍ مِن الطَّبقات المُتتالِية الَّتي تُؤدِّي كُلٌّ مِنها خِدماتٍ مُحدَّدةٍ، ويَنتُج عن تَقدِيم مُجمَل هذه الخِدمات تبادُل البيانات بنجاحٍ بين طَرفين أو أكثر يَدعمان البِنية الطَبقيَّة السَّابِقة. تَحصُل كُلُّ طبقةٍ عُليا في هذا النَّمُوذَج على الخِدمات مِن الطَّبقات الدُّنيا كما في نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة.

لا مِعيارَ مُوحَّداً يَصِف نَموذَج الإنترنِت كامِلاً،[39] ولكن يُوجَد توصيفٌ لِكلِّ برُوتُوكُولٍ عامِلٍ في الشَّبكة، ولِلخِدمات الَّتي تُقدِّمها الطَّبقات، ضِمن وثائِقَ خاصَّةٍ تَنشُرها مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت، وتُسمَّى وثائِقُ طَلب التَّعلِيقات، ويُشار إليها اختصاراً بالاسم الرَّمزيِّ RFC.[40]

[37] اسمه الكامِل هُو Layer Two Tunneling Protocol، اختصاراً L2TP، لِلمزيد حَوله انظر [RFC2661] في ثَبت المَراجِع.

[38] أَصل الاسم TCP/IP model، الَّذي يَجمَع اختصارين لِبرُوتُوكُول الإنترنِت IP ولِبرُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل TCP لِأنَّهما أوَّل برُوتُوكُولين طُوِّرا وَفقاً لِلنَّمُوذَج. ويُشار له أيضاً باسم حُزمَة برُوتُوكُولات الإنترنِت Internet Protocol Suite أو نَموذَج وِزارة الدِّفاع Department of Defense model، اختصاراً DoD، ويُقصَد بها وِزارة الدِّفاع الأمريكيَّة لِأنَّها كانت المُموِّل الرَّئِيس لِلمَشرُوع.

[39] لِمزيدٍ مِن المَعلُومات حول هذا النَّمُوذَج، انظر [RFC1122] و[RFC1123] و[RFC1180] في ثَبت المَراجِع.

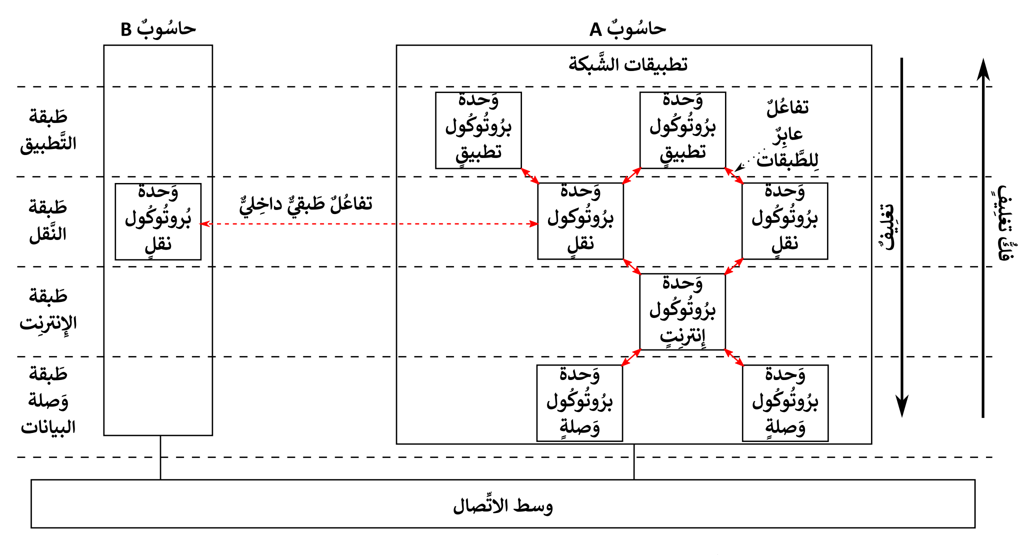
[40] أَصل الاسم Internet Engineering Task Force، اختصاراً IETF، هي مَجمُوعة عملٍ تَطوعيَّةٌ غير رِبحيةٍ تَأسَّست عام 1986م، تَهدُف إلى وضع مَعاييرَ مُوحَّدةٍ لِتطوير الإنترنِت والحفاظ على التَّوافُق بين أَجزائِها ومُكوِّناتِها المُختلِفة (انظر ص. 36 في [RFC1594] في ثَبت المَراجِع)، أمَّا وثائِق طَلب التَّعلِيقات Request for comments، اختصاراً RFC، فهي مُستنَداتٌ نَصيَّةٌ بدَأت بالصُّدور في عام 1969م، تَصِف برُوتُوكولات نَمُوذَج الإنترنِت والتَّجارب المُرتَبطة به (انظر ص. 41 في [RFC1594]).

وصف العمل

يَعتمِد نَمُوذَج الإنترنِت على بِنيةٍ مُجرَّدةٍ فيها أَربعُ طَبقاتٍ تتمَوضَع بين تطبيقات الشَّبكة ووسط الاتِّصال الماديِّ، ولكي يَتمكَّن أيُّ حاسُوبٍ، أو أيُّ طرفيةٍ أُخرَى، مِن الاتِّصال مع الشَّبكة فإنَّه مُلزَمٌ بدعم هذه البِنية الطَبقيَّة. وهذه الطَّبقات، تَبعَاً لِترتيبها مِن الأَعلى إلى الأَسفل، هي: التَّطبيق والنَّقل والإنترنِت والوَصلة.

يَلزَم أن تَنشط وَحدة بُروتُوكولٍ واحِدةٌ على الأقلّ في كُلّ طَبقةٍ مِن طَبقات النَّمُوذَج لِيَعمَل بنجاحٍ في حاسُوبٍ ما، ويُقابِل مَفهُوم الوَحدة في هذا النَّمُوذَج مَفهُوم الكِيان في نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة. تَتَجمَّع الوَحدات في كُلّ حاسُوبٍ عَموديَّاً، فتَرتَبط كُلُّ وَحدةٍ مع الوَحدات الَّتي تقع في الطَّبقات الأَعلَى أو الأَدنَى مِن طَبقتها، ويَنتِج عن ذلك تفاعُلٌ عابِرٌ لِلطَّبقات يُشكِّل مَساراتٍ بين الوَحدات تعبُرها البيانات صُعُوداً وهُبُوطاً في النَّمُوذَج في أَثناء تبادُلها بين الحواسِب. بالإضافة لِذلك، تُشَغِّلُ الوَحدات النَّشِطة في الطَّبقة نفسِها بُروتُوكولها عبر هذه الطَّبقة فتَتَفاعَل بعضُها مع بَعضٍ تفاعُلاً داخِليَّاً ضِمن الطَّبقة ذاتِها.[41]

يَحصُل التَّفاعُل الطَّبقيُّ الدَّاخِليُّ عبر قناةٍ افتراضيَّةٍ تَصِل بين وَحدتي البرُوتُوكول، وهي، أَي القَناة، لا تَتَجاوز نظريَّاً حُدُود الطَّبقة الَّتي يَنشُط فيها البرُوتُوكول. أَمَّا عمليَّاً، فإنَّ الرَّسائِل المُتبادَلة بين وَحدات البرُوتُوكول لا بُدَّ أن تَهبِط في نَمُوذَج الإنترنِت في الحاسُوب المَصدَر لِتُغلَّف في أَثناء ذلك، ثمَّ تَعبُر الوسط الماديَّ إلى الحاسُوب الوِجهة حيث يُفكُّ تغلِيفها في أَثناء حركتها صُعُوداً قبل إِيصالها إلى وَحدة البرُوتُوكول الوِجهة، أَي أَن إِنجاز عمليَّتي التَّغلِيف وفكِّ التَّغلِيف مسأَلةٌ لازِمةٌ لِإنجاح التَّفاعِل الطَّبقيِّ الدَّاخِليِّ، ويُظهِر الشَّكل (1-9) بِنية نَمُوذَج الإنترنِت ونوعي التَّفاعُلات بين الوَحدات فيه.



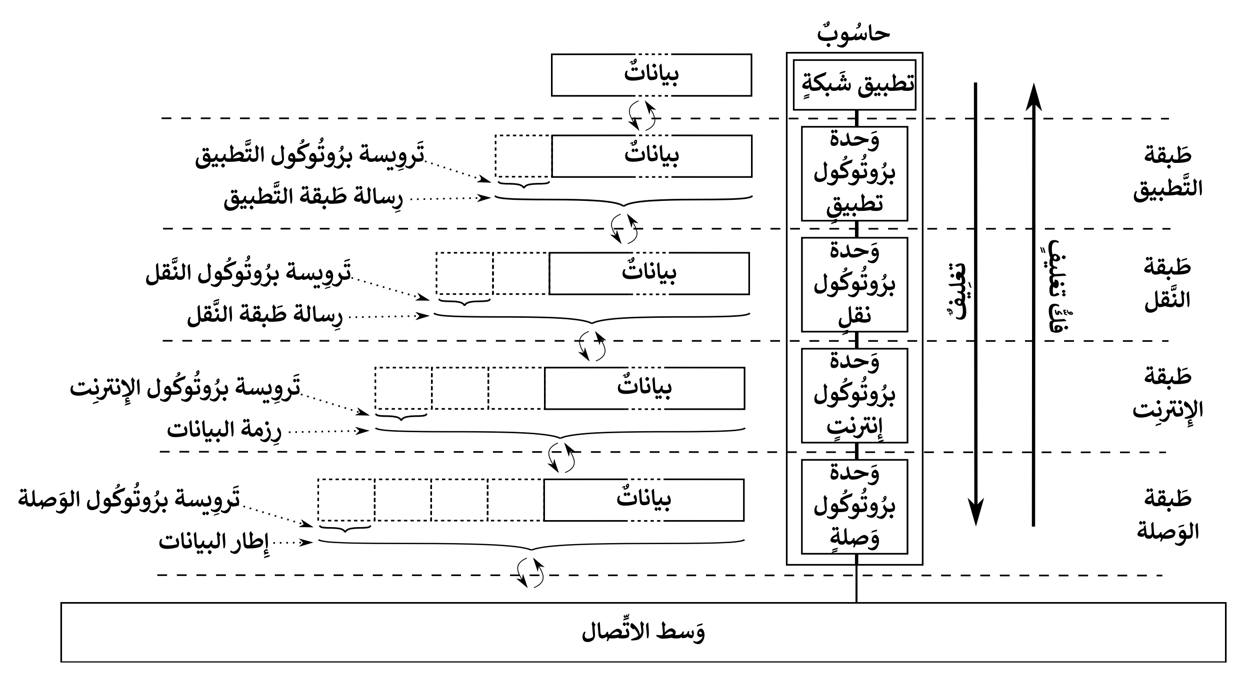
الشَّكل (1-9): بِنية نَمُوذَج الإنترنِت ونَوعي التَّفاعُلات فيه

تَتَحرَّك البيانات عبر طَبقات النَّمُوذَج في كُلِّ حاسُوبٍ بالاتِّجاهين: صُعُوداً باتِّجاه تطبيقات الشَّبكة، وهُبُوطاً نحو وسط الاتِّصال الماديِّ الَّذي يَنقُل البيانات بين الحواسِب المُختلِفة. خلال هذه الحركة، تُغلَّف البيانات الهابِطة ويُفكُّ تغليف البيانات الصَّاعِدة. في التَّغلِيف، يُضيف كُلُّ بُروتُوكولٍ تَروِيسته إلى البيانات ويُنتِج وَحدة بيانات البرُوتُوكول الَّتي تُمَرَّر إلى

[41] أَصل الاسمَين Cross-layer interaction وInter-layer interaction. انظر ص. 27-29 في أُطروحة درجة الفلسفة الَّتي أَعددناها في عام 2021م في [BKE07] في ثَبت المَراجِع.

الطَّبقة التَّالِية هُبُوطاً في النَّمُوذَج. أَمَّا عند فكِّ التَّغلِيف، فإِنَّ كُلَّ وَحدة برُوتُوكُولٍ في الوِجهة تُزِيل التَّروِيسة الَّتي أَضافتها وَحدة البرُوتُوكُول المُقابِلة في المَصدَر مِن البيانات الوَارِدة، ثُمَّ تُمَرِّر النَّاتِج إِلى الطَّبقة التَّالِية صُعوداً.

تُسمَّى وَحدة بيانات البرُوتُوكُول في طَبقة التَّطبيق رِسالة طَبقة التَّطبيق، وفي طَبقة النَّقل تُسمَّى أيضاً رسالة طَبقة النَّقل، ويُمكِن أَن تُسمَّى وَحدة البيانات في هذه الطَّبقة تَبعَاً لِبرُوتُوكُول النَّقل المُستعمل، فهي قِطعةٌ[42] مِن أَجل برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل وحُزمة بياناتٍ مِن أَجل برُوتُوكُول حُزَم بيانات المُستخدِم.[43] أَمَّا في طَبقة الإِنترنِت، فتُسمَّى وَحدة بيانات البرُوتُوكُول رِزمَة البيانات وتُختصَر عادةً إِلى رِزمةٍ، وجَمعُها رِزَم أَو رِزمات. وأَمَّا في طَبقة الوَصلة، فتُسمَّى وَحدة بيانات البرُوتُوكُول إِطاراً لِلبيانات، وجَمعُه أُطُر. ويُبيِّن الشَّكل (1-10) مَراحلَ عمليَّة التَّغلِيف في نَمُوذَج الإِنترنِت وأَسماء وَحدات بيانات البرُوتُوكُول في كُلِّ طَبقةٍ فيه كما تَقدَّم.



الشَّكل (1-10): التَّغلِيف وفكُّ التَّغلِيف في نَمُوذَج الإِنترنِت

بِنية النَّمُوذَج

يَتكوَّن نَمُوذَج الإِنترنِت مِن أَربع طبقاتٍ كما أُسلِف، وهي التَّطبيق والنَّقل والإِنترنت والوَصلة. ويَضمُّ الجدول (1-2) مَعلُوماتٍ مُختصَرةً عن كُلٍّ طبقة ووظائِفها وأَمثلةً عن البرُوتُوكُولات العامِلة فيها بدءاً مِن أَعلى طَبقةٍ في النَّمُوذَج، أَي طَبقة التَّطبيق.

[42] أُصول الأَسماء القِطعة Segment وحُزمة البيانات Datagram ورِزمة البيانات Data packet وإِطار البيانات Data frame.

[43] لِمزيدٍ مِن المَعلُومات حول برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل Transmission Control Protocol، اختصاراً TCP، انظر [RFC793] في ثَبت المَراجِع، أَمَّا في ما يخصُّ برُوتُوكُول حزم بيانات المُستخدِم User Datagram Protocol، اختصاراً UDP، فانظر [RFC768].

الجدول (1-2): طَبقات نَمُوذَج الإنترنِت

رقم الطَّبقة	اسم الطَّبقة	الوصف
4	التَّطبيق	أَعلَى طَبقةٍ فِي النَّمُوذَج، تَهتمُّ بتَأمين مَنفَذٍ لِلتَّطبيقات الَّتِي تَحتاج لِلاتِّصال بالشَّبكة. تَتَوافق الخِدمات الَّتِي تَدعَمها مع خِدمات طَبقات التَّطبيق والتَّمثيل والجَلسَة في نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة. تَدعَم هذه الطَّبقة عائِلتين مِن البرُوتُوكُولات: • برُوتُوكُولات المُستخدِم: وهي البرُوتُوكُولات الَّتِي تُقدِّم الخِدمة لِتطبيقات المُستخدِمين نَحوُ برُوتُوكُول نقل المِلفَّات أو برُوتُوكُول نقل البريد البسيط[44] • برُوتُوكُولات الدَّعم وهي البرُوتُوكُولات الَّتِي تَدعم خِدمات الاتِّصال نحو نِظام تسمية النِّطاقات[45]
3	النَّقل	تَدعم خِدمات الاتِّصال بين الطَّرفيَّات بمعزلٍ عن بِنية الشَّبكة الماديَّة، وهُو دورٌ مُشابِهٌ لِدور الطَّبقة الَّتِي تَحمِل الاسم نفسَه في نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة. أَهمُّ برُوتُوكُولات هذه الطَّبقة هُما برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل وبرُوتُوكُول حِزم بيانات المُستخدِم.
2	الإنترنِت	تُقدِّم خِدمتي التَّشبِيك والتَّوجيه، وستُدرَس الأُولى بالتَّفصيل في الفَصل الثَّانِي مِن هذا الكِتاب. وتتوافق الخِدمات الَّتِي تدعمها هذه الطَّبقة مع خِدمات طَبقة الشَّبكة في نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة. أَهمُّ برُوتُوكُولاتها الإصداران الرَّابِع والسَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وسيُدرَسان بالتَّفصيل في الفصلين الثَّالِث والعاشِر مِن هذا الكِتاب على التَّرتيب.
1	الوَصلة	تُحدِّد المَعايير اللَّازِمة لِربط الحاسُوب مع وَسط الاتِّصال الماديّ، وتَتَوافَق الخِدمات الَّتِي تَدعَمها مع خِدمات طَبقة الوَصلة والطَّبقة الماديَّة في نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة.

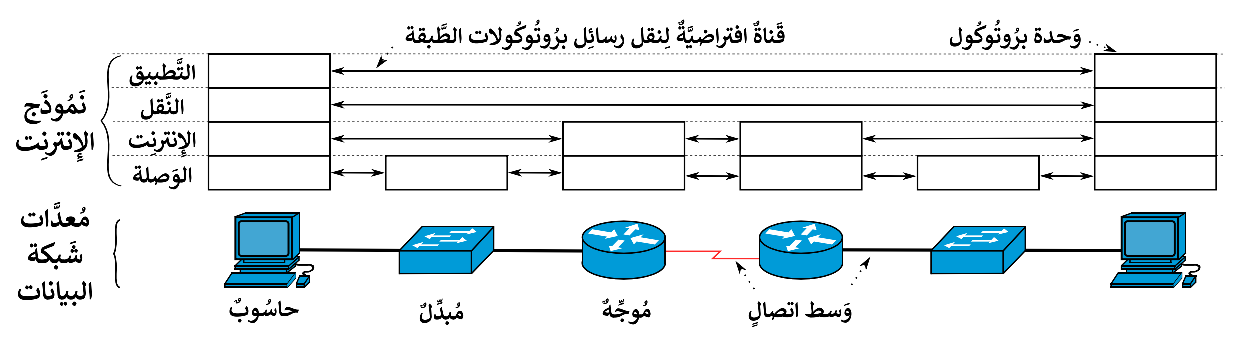
[44] لِمزيدٍ مِن المَعلُومات حول برُوتُوكُول نقل المِلفَّات File Transfer Protocol، اختصاراً FTP، انظر [RFC959] في ثَبت المَراجِع، وحول برُوتُوكُول نقل البريد البسيط Simple Mail Transfer Protocol، اختصاراً SMTP، انظر [RFC5321].

[45] لِمزيدٍ مِن المَعلُومات حول نِظام تسمية النِّطاقات Domain Name System، اختصاراً DNS، انظر [RFC1034] في ثَبت المَراجِع.

		أشهر برُوتُوكُولات هذه الطَّبقة برُوتُوكُول الإيثرنت وعائِلة برُوتُوكُولات الاتِّصال اللّاسِلكِيّ في الشَّبكة المَحلِّيَّة المَعرُوفة بالاسم الرَّمزي وَاي فَاي.[46]

يُستعمَل نَمُوذَج الإنترنِت، بشكلٍ مُشابهٍ لنَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، لِوصف شَبكة بيانات تَحتوِي مُعدَّاتٍ مُتنوِّعةٍ، ويُبيِّن الشَّكل (1-11) نَمذَجةً باستعمال نَمُوذَج الإنترنِت لِشَبكة البيانات السَّابِقة الظَّاهِرة في الشَّكل (1-8).

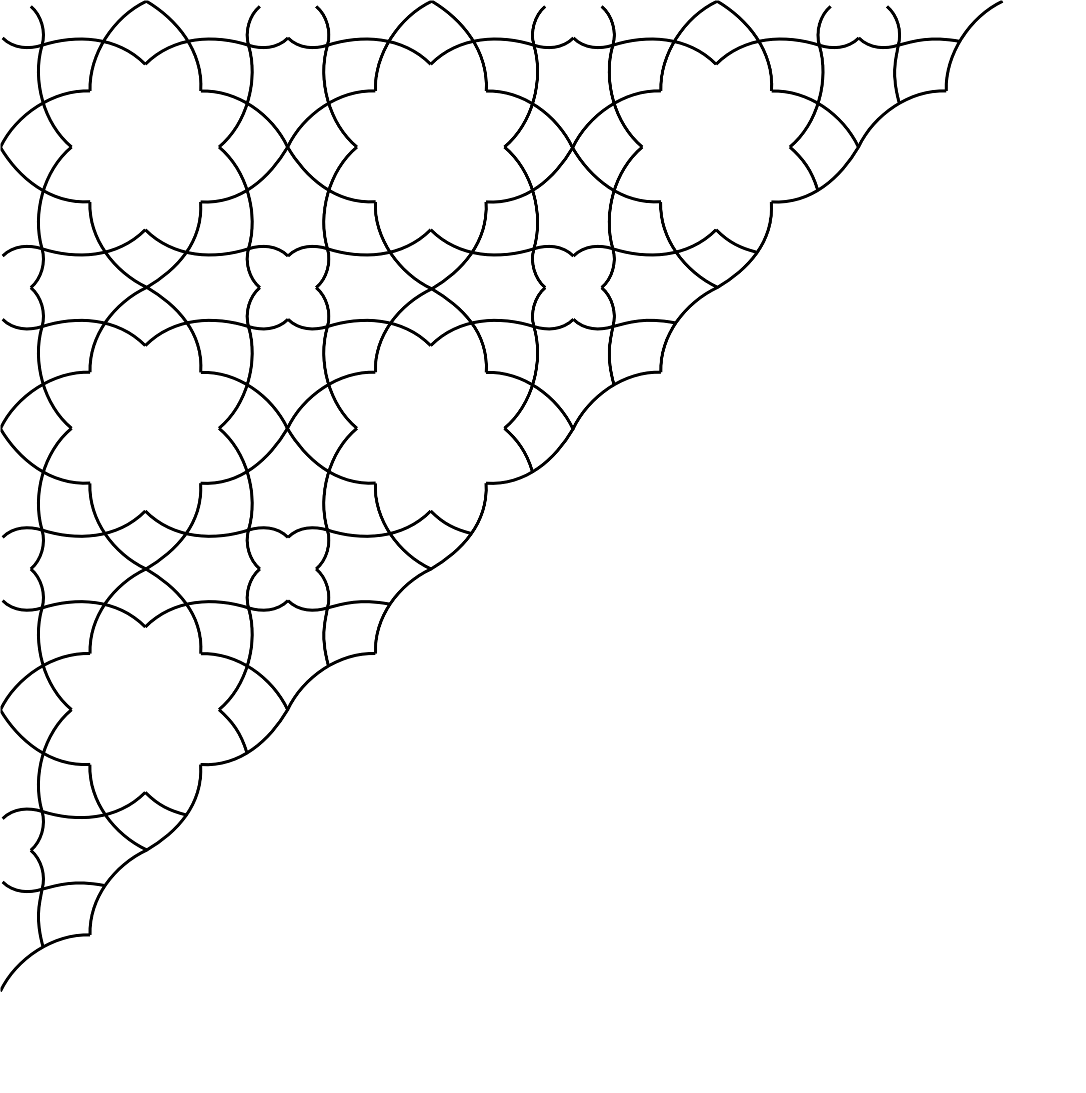
يَلزَم عُموماً الانتباه إلى ضَرورة تحديد النَّمُوذَج المُستعمَل عند استخدام أرقام الطَّبقات بصفتها مُعرِّفاتٍ لها، لما قد يُرافِق ذلك مِن خَلطٍ، فالطَّبقة الرَّابِعة على سبيل المِثال هي طَبقة النَّقل في نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، ولكنَّها طَبقة التَّطبيق في نَمُوذَج الإنترنِت.



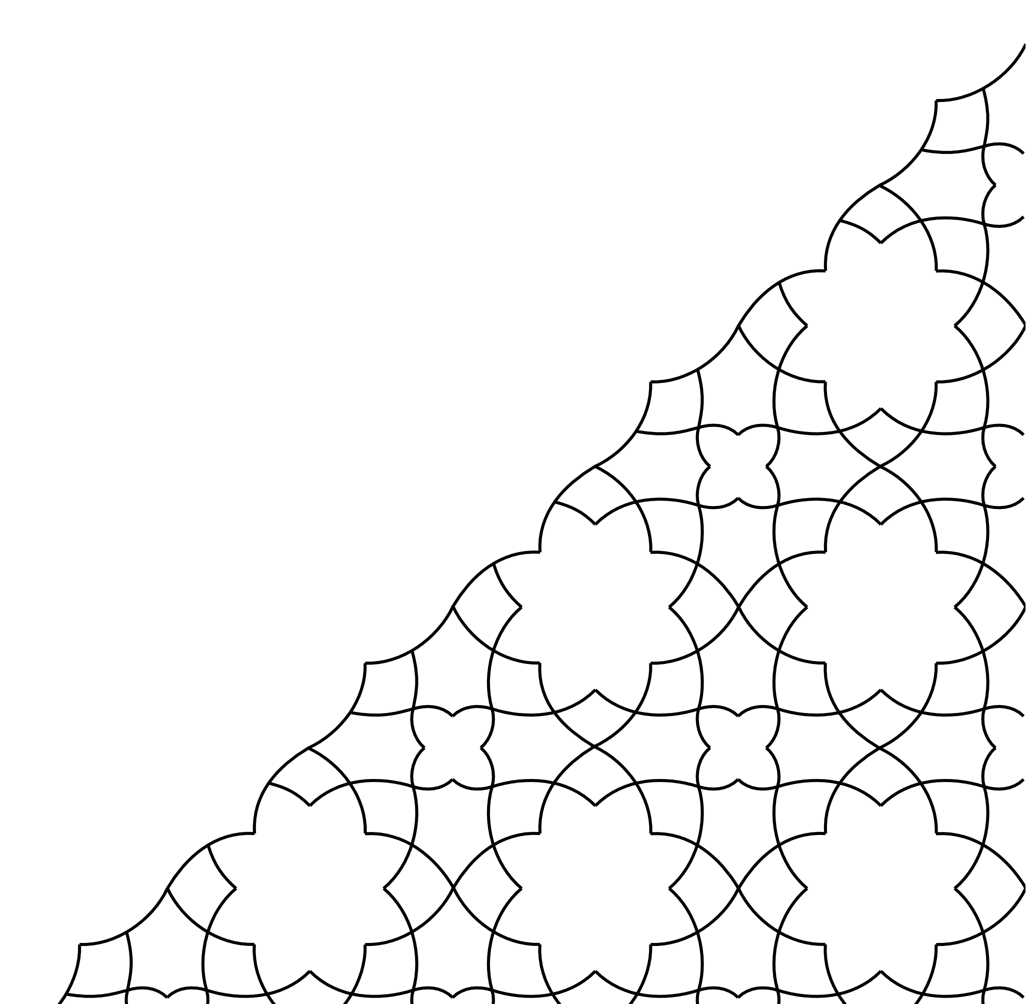
الشَّكل (1-11): نَمذَجة شَبكة بياناتٍ باستعمال نَمُوذَج الإنترنِت

[46] لِمزيدٍ مِن المَعلُومات حول الإيثرنِت Ethernet، انظر [STD02] في ثَبت المَراجِع، وحول عائِلة برُوتُوكُولات الاتِّصال اللّاسِلكِيّ WiFi انظر [STD03].

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل الثَّانِي: التَّشبيك



مُقدِّمةٌ

التَّشبيك أَو تَركيب الشَّبكات أَو المُشابَكة هُو تَمكِين شَبكتين أَو أَكثرَ مِن الاتِّصال بعضُها مع بعضٍ، لِيَكُون المُستخدِمون في كُلٍّ مِنها قادِرين على الوُصُول إلى المَوارِد في الشَّبكات الأُخرى. قد تَكُون الشَّبكات المَوصُولة مُتشابِهةً، أَي تُشغِّل البرُوتُوكُولات نفسَها، أَو مُختلِفةً، تُشغِّل برُوتُوكُولاتٍ مُتنوِّعةً.

ظَهر مَفهُوم التَّشبيك مع تطوُّر شَبكات البيانات مُنذ بدايات سبعينيَّات القرن العشرين، وكان الهدف الرَّئِيس مِنه هُو ربط شَبكات البيانات المُختلِفة بعضُها مع بعضٍ لِيَكُون بإمكانها تبادل رِزَم البيانات. طَوَّرت وَكالة مَشارِيع البُحوث المُتطوِّرة الدِّفاعيَّة نَمُوذَجها الخاصَّ الَّذي ضمَّ برُوتُوكُولاً يُقدِّم خِدمة التَّشبيك إلى جانِب خِدماتٍ أُخرَى، ثُمَّ تَلا ذلك وَضع نَمُوذَج اتِّصالٍ مَرجِعيٍّ طَبقيٍّ هو نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة الَّذي دُرِس في الفصل الأَوَّل مِن هذا الكِتاب، فجُزِّئ البرُوتُوكُول السَّابِق بموجِبه إلى برُوتُوكُولين يَعملان في طَبقتي النَّقل والشَّبكة.

أَمَّا التَّشبيك، فهُو خِدمةٌ مِن خِدمات طَبقة الشَّبكة تَبعاً لِلنَّمُوذَج السَّابِق، وينظِّمها برُوتُوكُولٌ خاصٌّ يُسمَّى برُوتُوكُول التَّشبيك مِن خلال أَداء الوظائِف التَّالِية: تحديد نمط الاتِّصال المَدعُوم في الشَّبكة وتحديد جُودة الخِدمة وعَنونة المُضِيفين المُتَّصِلين مع الشَّبكة عنونةً فريدةً ومُتمايزةً وتقطيع رِزَم البيانات وإِعادة تجميعها وتنضيد بيانات برُوتُوكُولات الطَّبقات العُليَا لِتمكينها مِن الوصول إلى خِدمات الطَّبقات السُّفلَى والعَكس بالعَكس والتَّوجِيه تَبعَاً لِلمَصدَر والتَّحكُّم بالتَّدفُّق.

مِن الأَمثلة عن برُوتُوكُولات التَّشبيك: الإِصداران الرَّابِع والسَّادِس مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت، وهُما البرُوتُوكُولان اللَّذان قامَت الإِنترنِت عليهما وما تَزال، سيُدرَس الأَوَّل في الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب والآخر في الفصل العاشِر.

هذا الفصل مُخصَّصٌ لِمُناقشة مَفهوم التَّشبيك، وهُو يَبدَأ بِتعريفه وعرضٍ لتَأصيل اسمه في العربيَّة والإِنكليزيَّة، يَلِي ذلك نبذةٌ تاريخيَّةٌ تَعرِض تَطوَّر فكرة التَّشبيك وصُولاً إِلى شكلِها الحالِي، ثُمَّ عَرضٌ وشرحٌ لِلوظائِف الَّتي يُقدِّمها برُوتُوكُول التَّشبيك.

التَّعريف وأَصل التَّسمية

التَّشبيك هُو ربط شَبكتين أَو أَكثرَ تَستعمِلان برُوتُوكُولاتٍ مُختلِفةً بواسطة بوَّابةٍ أَو مُوجِّهٍ ربطاً يَسمَح لِلمُستخدِمين المَوجُودِين في أَيِّ شَبكةٍ بالوصُول إِلى المَوارِد الحاسُوبيَّة في الشَّبكات الأُخرَى،[47] وهُو وَفقاً لِتعريف مُعجَم الحاسِبات[48]: «توصيلُ أَكثرَ مِن شَبكة حاسِباتٍ لِتكوين شَبكةٍ أَكبرَ عالِية المُستوَى». أَمَّا مُعجَم المَورِد[49] فيَقول إِنَّ "المُشابَكة" هي المُقابِل العربيُّ لِكلمة Networking، وتَعنِي إِنشاء شَبكة حَواسِب أَو استخدامها.

[47] انظر ص. 194 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[48] وهُو مُعجَمٌ صادِرٌ عن مَجمَع اللُّغة العربيَّة بالقاهرة، لتعريف التَّشبيك انظر ص. 152 في [BKA1] في ثَبت المَراجِع.

[49] المَورِد الحديث هُو مُعجَمٌ إِنكليزيٌّ عربيٌّ، وضعه مُنير البعلبكيِّ وابنه رَمزي. انظر ص. 766 في [BKA2] في ثَبت المَراجِع مِن أَجل المُشابِكة.

وأَمَّا كلمة "تشبيك" في العربيَّة فهي مَصدَر "شَبَّك" وشَبَّك الأَشياء يُشَبِّكُها تَشْبِيكاً أي بَالغ في إدخال بعضِها في بعضٍ، والشَّبكة هي كُلٌّ مُتداخِلٌ مُتشابِكٌ نحو شَبكة الهاتِف،[50] وجاء في لِسان العرب[51] «شَبَك يَشْبِكُ شَبْكاً أي أَنشَب بعضَه في بعضٍ وأَدخله، والشَّبْكُ هُو الخَلط والتَّداخُل ومِنه تشبيك الأَصابع».

أَمَّا مُقابِل كلمة "تَشبِيك" في الإِنگليزيَّة فهُو Internetworking، وهي كلمةٌ مُكوَّنةٌ مِن مَقطَعين، الأَوَّل هُو Inter- وهي بادِئةٌ تَعني على نَحوٍ مُتبادَلٍ أو تُشير لِحصُول ما بعدها بين شيئَين أو أَكثر، والآخر هُو network- وهُو اسمٌ يَعني شَبكة الحواسِب.[52]

نَبذةٌ تاريخيَّةٌ

طَرح پُول بَارَان[53] في عام 1964م فكرةً جَديدةً لِإنشاء شَبكات اتِّصالات لِنقل البيانات، فعوضاً عن الاعتماد على مَبدَأ تبديل الدَّارات[54] القائِم على نَمُوذَجٍ مَركزيٍّ تُشرف فيه عُقدَةٌ واحِدةٌ على إنشاء وإِدارة وإِغلاق قنوات الاتِّصالات الماديَّة، والَّتي تُخصَّص واحِدةٌ مِنها لكُلِّ اتِّصال. اقترح بَارَان نَمُوذَجاً مُوزَّعاً لا قنواتَ اتِّصالاتٍ ماديَّةً مُخصَّصةً للطَّرفيَّات فيه، وبدلاً مِن ذلك، عَرَّف بَارَان مبدأ الرِّسالة المُجمَّعة، وفيه تجمّع أَطراف الاتِّصال البيانات الَّتي ترغب في إِرسالها عبر الشَّبكة، ثُمَّ تُرسِلها على شكل دَفَعاتٍ، سَمَّى بَارَان كُلَّاً مِنها رِسالةً مُجمَّعة، واقترح أَن يَكُون طُول الرِّسالة 1024 بتاً، وأَن تُقسَّم إِلى قِسمين: قِسم المَعلُومات الإِداريَّة وقِسم البيانات. ويُبيِّن الشَّكل (2-1) بِنية الرِّسالة المُجمَّعة كما افترضها بَارَان، وفيها يَشتمِل قِسم المَعلُومات الإِداريَّة على حُقُول بِداية ونِهاية الرِّسالة وعُنواني المَصدَر والوِجهة، بالإِضافة لِحَقلي رَقم التَّسليم والأَحقيَّة المُستعمَلان لِضَبط الوظائِف المُتعلِّقة بنقل الرِّسالة نحو جُودة الخِدمة، أَمَّا قِسم البيانات فاحتوَى مَعلُوماتٍ نَصيَّةً فقط.[55]

تَطوَّر هذا المَبدَأ لاحِقاً فُسمِّيت الرِّسالةُ المُجمَّعة رِزمةَ بياناتٍ والمَعلُوماتُ الإِداريَّة تَروِيسةً وأَصبح المَبدَأ يُسمَّى تبديل الرِّزم، وهُو الأَساس الَّذي قَامَت عليه شَبكات البيانات.[56]

---

[50] هذا ما وَرد في المُعجَم العربيِّ الأَساسيِّ، الصَّادِر عن المُنظَّمة العربيَّة لِلتَّربية والثَّقافة والعلوم، انظر ص. 667 في [BKA03] في ثَبت المَراجِع.

[51] وهُو مُعجَمٌ عربيٌّ وضعه ابن مَنظورٍ الأَنصاريُّ قُرابة العام 1290م، انظر مادة "شبك" فيه ص. 2187 في [BKA04] في ثَبت المَراجِع.

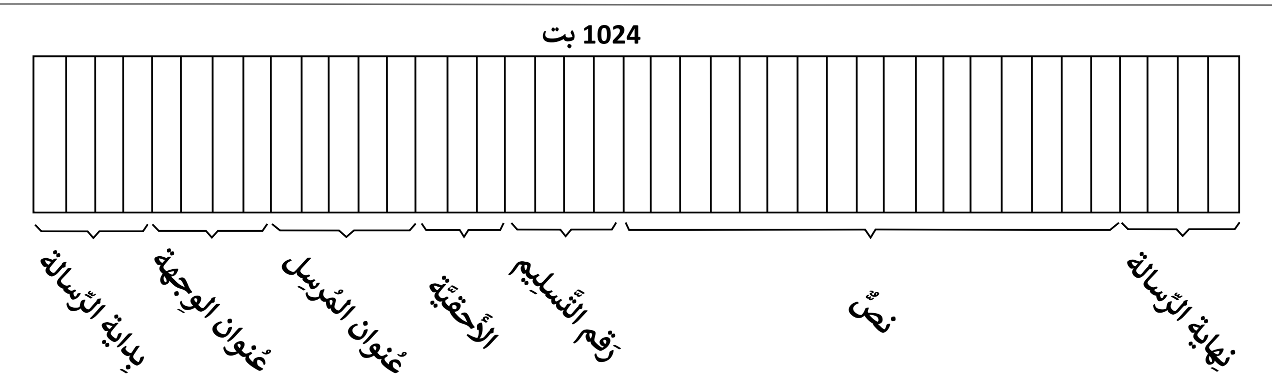
[52] انظر ص. 599 وص. 766 في [BKA02].

[53] پُول بَارَان Paul Baran (1926-2011م) هُو مُهندِس حاسُوبٍ أَمريكيٌّ مِن أُصولٍ پولنديَّةٍ، حصل على درجة البَكَالُوريُوس مِن جامعة دِركسِل في عام 1949م باختصاص الهندسة الإِلكترونيَّة وعلى درجة المَاجِستير في عام 1959م مِن جامعة كالِيفُورنية في لُوس أَنجِلُوس، وعَمِل بعدها في مُؤسسة رَاند على تطويرِ نِظام اتِّصالاتٍ قادِرٍ على النَّجاة مِن ضرباتٍ نَوويَّةٍ مُحتمَلةٍ في خضم الحرب البارِدة. بَارَان أَوَّل مَن قال بمَبدَأ تبديل الرِّزَم، وهُو مِن الرُّواد في مَجال شَبكات الاتِّصال الحاسُوبيَّة.

[54] أَصل الاسم Circuit switching هُو نمط اتِّصالٍ تُنشَأ فيه قناةٌ ماديَّةٌ مُؤقَّتةٌ بمُقتضَى الحاجة لِتَربط بين طرفين، للمزيد انظر ص. 71 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[55] نشر بَارَان هذه الأفكار في تقريرٍ حمل عُنوان "عن شَبكات الاتِّصال المُوزَّعة"، واِستعمل فيه المُصطلَحات التَّالِية: الرِّسالة المُجمَّعة Block message والمَعلُومات الإِداريَّة Housekeeping information، للمزيد انظر [ART11] في ثَبت المَراجِع.

[56] لِلمزيد حول مَبدَأ تبديل الرِّزَم وتطوُّره انظر [ART12] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (2-1): الرِّسالة المُجمَّعة كما افترضها پُول بَارَان في عام 1964م

تَبنَّت وَكالة مَشاريع البُحوث الدِّفاعيَّة المُتقدِّمة، المَعرُوفة اختصاراً بالاسم دَارپَا[57]، مَفهُوم تبديل الرِّزَم، وعَمِلت مُنذ بداية السَّبعينيَّات على تطوير "أَرپَانِت"،[58] وهي شَبكة بياناتٍ مُتباعِدةٌ ضَمَّت مَجمُوعةً مُتنوِّعةً مِن شَبكات البيانات غير المُتجانِسة نحو شَبكات الأَقمار الصِّناعيَّة والشَّبكات الرَّاديويَّة والشَّبكات المَحلِّيَّة. وبوجُود هذا التَّنوُّع، ظَهرت الحاجة إلى ربط هذه الشَّبكات بعضُها مع بعضٍ للسَّماح لها بِتبادل رِزَم البيانات فيما بينها. وقد اختارت دَارپَا، في أَثناء التَّنفيذ، فلسفةً عِمادُها توصيل الشَّبكات غير المُتجانِسة كما هي، أَي مِن غير إجراء تغيراتٍ داخليَّةٍ في أيٍّ مِنها.[59]

في عام 1974م، قدَّم رُوبِرت خان وڤِينت سِيرف[60] وَرقةً بحثيَّةً تَضمَّنت وَصفاً عامَّاً لِنَمُوذَج شَبكة بياناتٍ تَتكَوَّن مِن مَجمُوعةٍ مِن المُضيفِين، وهي حَواسِب يَحتوي كُلٌّ مِنها مَجمُوعةً مِن العمليَّات الَّتي تُولِّد البيانات، ويَتَّصِل هَؤُلاء المُضيفُون بعضُهم مع بعضٍ لِتشكيل شَبكات بياناتٍ فَرعيَّة مُتنوِّعةٍ في بِنيتها، لكن يُمكن وَصلُها عبر عُقدٍ وَسيطةٍ تُسمَّى البوَّابات، وهي تُشرِف على تبادل رِزَم البيانات بين المُضيفِين.[61]

وَصَفت الوَرقة البَحثيَّة الاختلافات المَوجُودة بين شَبكات البيانات الفَرعيَّة كما يَأتي:

---

[57] أَصل الاسم Defense Advanced Research Projects Agency، اختصاراً DARPA، وتُقرَأ دَارپَا، هي وَكالةٌ حُكُوميَّةٌ تأَسَّست عام 1958م، تَتبع وَزارة الدِّفاع الأَمريكيَّة، تَختَصُّ بالبحث العلميِّ وتطوير تقنيَّاتٍ جَديدةٍ للاستعمالات العسكريَّة.

[58] أَصل الاسم شَبكة وَكالة مَشاريع البُحوث المُتقدِّمة أَو شَبكة أَرپا Advanced Research Projects Agency Network، اختصاراً ARPANET، وتُقرَأ أَرپانِت، هي شَبكة بياناتٍ طَوَّرتها دَارپَا بدءاً مِن عام 1969م بهدف ربط الجامعات وَوكالات البُحوث الحكوميَّة بعضُها مع بعضٍ وشكَّلت الأَساس الَّذي بُنيت الإنترنِت على أساسه لاحِقاً، انظر ص. 19 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[59] انظر الفلسفة الَّتي قامت عليها أَرپانِت في [ART13] في ثَبت المَراجِع.

[60] رُوبِرت (بُوب) إليُوت خان Robert Elliot Kahn (1938-) هُو مُهندِسٌ أَمريكيٌّ حَصل على البَكَالُوريُوس في الهندسة الكهربائِيَّة مِن كلية مدينة نيُويُورك في عام 1960م وعلى درجة المَاجِستِير في عام 1962م ودرجة الدُّكتُوراه في عام 1964م وكلاهُما في الهندسة الكهربائِيَّة مِن جامعة پرِينستُون، عمل مع شركة بِي بِي إن BBN وفي مَكتب تِقنيَّات مُعالَجة المَعلُومات في وَكالة مَشارِيع البُحوث المُتطوِّرة الدِّفاعيَّة ويُنسَب إليه، مع ڤِينت سِيرف، كونَهما أَوَّل مَن اقترح تطوير برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل وبرُوتُوكُول الإنترنِت في عام 1974م.

ڤِينتُون (ڤينت) غرَاي سِيرف Vinton Gray Cerf (1943-) هُو باحِثٌ أَمريكيٌّ حَصل على بكَالُوريُوس في الرِّياضِيَّات مِن جامعة ستَانفُورد في عام 1965م وعلى درجة المَاجِستِير في عام 1970م والدُّكتُوراه في عام 1972م وكلاهُما في علوم الحاسُوب مِن جامعة كالِيفورنية في لُوس أَنجلُوس، وعَمِل بعد ذلك في شركة آي بِي إم IBM ثُمَّ في دَارپَا حيث رَافق رُوبِرت خان وطَوَّرا معاً البرُوتُوكُولات الرَّئِيسة للإنترنِت.

[61] نُشِرت الوَرقة البحثيَّة تحت عُنوان "برُوتُوكُولٌ مِن أَجل الاتِّصال البينيِّ في شَبكات الرِّزَم"، واستُعملت فيها الاصطلاحات التَّالِية: مُضيف Host وعمليَّة Process وبَوَّابة Gateway ورزمة Packet. لِلمَزيد حول هذه الوَرقة انظر [ART14] في ثَبت المَراجِع.

- قد تَستخدم شَبكات البيانات الفَرعيَّة نُظُم عَنونةٍ مُختلِفةٍ لِتمييز المُضيفين، فتَظهَر عندها حاجةٌ لِنظام عَنونةٍ مُوحَّدٍ لِيَكُونَ بإمكان أيِّ مُضيفَين مِن شَبكتين فَرعيَّتين التَّواصلُ في ما بينهما.
- قد يَكُون لِلمُضيفِين المَوجُودِين في شَبكاتٍ فَرعيَّة مُختلِفةٍ قُدرةٌ على التَّعامِل مع أَحجامٍ صُغرَى مُتنوِّعةٍ مِن وَحدات البيانات، ويَلزَم أَن يُوجَد طُولٌ أَصغرُ مُتَّفَقٌ عليه لِوَحدات البيانات المُتبادَلة بين المُضيفِين.
- قد تَختلِف طريقة تحديد نجاح أَو إخفاق عمليَّة نقل البيانات بين الشَّبكات الفَرعيَّة المُختلِفة، والأَمر نفسُه في ما يَتعلَّق بِتقييم أَداء الشَّبكة، خاصَّةً في مسائِلَ نحو أَزمنة التَّأخير المَقبُولة.
- قد تُفْقَد وَحدات البيانات أَو يَتغيَّر مُحتوَاها في أَثناء نقلها لأَسبابٍ مُتنوِّعةٍ تَختلِف مِن شَبكةٍ فَرعيَّةٍ لِأُخرى، ويَلزَم إنشاء اتِّصالٍ بين الطَّرفيَّات لِدَعم آليَّةٍ لِإعادة إرسال البيانات المَفقُودة أَو استعادتها.
- قد تَختلِف المَعلُومات المُرتبِطة بحالة الشَّبكة وبالتَّوجِيه وبِتحديد الأَخطاء مِن شَبكةٍ فَرعيَّةٍ لِأُخرى، لِذلك يَلزَم وجُود مِعيارٍ مُوحَّدٍ في الشَّبكات الفَرعيَّة كُلِّها لِوصف العمليَّات السَّابِقةً.

وارتَأى خان وسِيرف إمكانيَّة مُعالَجة هذه الاختلافات على حُدُود كُلِّ شَبكةٍ لا داخِلها، أَي في البَوَّابات وفي المُضيفِين، واقترحا تطوير برُوتُوكُولٍ مُخصَّصٍ يَدعَم عمليَّة التَّشبيك ويُعالِج الاختلافات السَّابِقة.

استمر العمل في دَاربَا على نقل الفلسفة الَّتي تَبنتها الوَكالة مِن الحيِّز النَّظريِّ إِلى الواقِع العمليِّ مِن خلال التَّركيز على إلزام الشَّبكات بتقديم مَجمُوعةٍ بَسيطةٍ مِن الخِدمات تَتَمَحوَر حول نقل رِزَم البيانات بمُعدَّلٍ عَالٍ لكن مِن غير ضمان مَوثوقيَّةٍ كامِلةٍ. تَضمَّنت هذه الفلسفة أَيضاً ربط الشَّبكات المُختلِفة بعضُها مع بعضٍ باستعمال البوَّابات مِن أَجل نقل البيانات، وتتَّصل كُلٌّ مِن هذه البوَّابات مع شَبكتين فَرعيَّتين على الأَقَلِّ، على أَن تَظهَر كُلُّ بوَّابةٍ في كُلِّ شَبكةٍ تَتَّصِل معها بصفة مُضيفٍ مَحلِّيٍّ.

طَوَّر سِيرف، اعتماداً على الفلسفة السَّابِقة، نَمُوذَجاً نظريَّاً يَصِف شَبكة بياناتٍ افتراضيَّةً تَربِط مَجمُوعةً مِن الشَّبكات المُتنوِّعة وسُمَّاه نَمُوذَج كَاتِينِت.[62] بالإضافة لِذلك، اعتمدت شَبكات بياناتٍ أُخرَى المبادِئ نفسَها وأَدخلت عليها مَجمُوعةً مِن التَّحسينات أَيضاً نحو شَبكة سِيكلَاد المُطَوَّرة في فرنسة، قُرابة العام 1974م، والَّتي يُنسَب لِمُطوِّرها، لوِيس پُوزَان[63]، كونه مِن أَوائِل مَن استعملوا مُصطلَح حِزمة البيانات[64] في أَدبيات شَبكات الحاسِب. طَوَّر پُوزَان مَفهُوم الرِّسالة المُجمَّعة

[62] أَصل الاسم Catenet، وهُو مُصطلَحٌ مُجرَّدٌ يَعنِي الشَّبكات المُتتابِعة أَو المُتسلسِلَة وأَصله مِن العبارة Concatenated Network، وكان لوِيس پُوزَان (انظر ترجمته في الهامِش التَّالِي) هُو أَوَّلُ مَن استعمل هذا المُصطلَح لِوصف شَبكة البيانات في وَرقةٍ بَحثيَّةٍ نشرها في عام 1974م (انظر [IEN48] في ثَبت المَراجِع).

[63] لويس پُوزَان (بالفَرنسيَّة: Louis Pouzin) (1931-) هُو عالِم حاسُوبٍ فَرنسيٍّ حصل على درجة البَكَالُوريُوس في عام 1962 مِن مَدرسة التِّقانات المُتعدِّدة (پُولِيتَكنِيك)، وعَمِل في الفترة بين العامين 1971 و1976 على تطوير شَبكة سِيكلَاد (بالفَرنسيَّة: Cyclades) الَّتي وَصَلت عَدَداً مِن المَعاهِد والجامِعات البحثيَّة الفرنسيَّة والعالميَّة بعضُها مع بعضٍ، وكانت أَول شَبكة بياناتٍ تُطبِّق بنجاحٍ مَفهُوم حِزمة البيانات.

[64] أَصل الاسم Datagram، وَرَدت مُعرَّبةً في ص. 20 في [BKA05] في ثَبت المَراجِع إِلى "برقيَّة مُعطياتٍ"، وفي ص. 82 في [BKA01] إِلى حِزمة بياناتٍ أَو رِسالة بياناتٍ، وقد اعتمدنا حِزمة بياناتٍ مُقابِلاً لها في هذا الكِتاب.

الَّذي صاغه بَارَان في عام 1964م ونَجح في نقله مِن فِكرةٍ نظريَّةٍ إلى تطبيقٍ عمليٍّ لِيَكُون أَوَّل مَن يَنجَح في تنفيذ مبدَأ تبديل الرِّزَم.[65]

كانت نتيجة ما سَبق وَضعاً مُعقَّداً ظَهرت فيه أَنظمةٌ وشَبكاتٌ مُتنوِّعةٌ صَنعتها أَو طَوَّرتها أَطرافٌ مُتعدِّدةٌ. وقد استشعرت المُنظَّمة الدَّوليَّة لِلمَعايير[66] الحاجةَ لِوضع مِعيارٍ مُوَحَّدٍ لِشَبكات البيانات غير المُتجانِسة، فأَنشَأت لجنةً فَرعيَّةً مُخصَّصةً لِذلك في العام 1977م، أَعطتها الاسم الرَّمزيّ[67] SC16. أَشرفت هذه اللَّجنة على تطوير المِعيار الَّذي حَمَل اسم "الرَّبط البينيُّ لِلأَنظمة المَفتُوحة"، وقد اختيرت كلمةُ "مَفتُوحة" فيه بِعنايةٍ لِتُشدِد على أَنَّ الوُصُول إلى أَيِّ نظامٍ يَتبع هذا المِعيار سيَكُون مُتاحاً مِن أَيِّ نِظامٍ آخر يَدعم المِعيار نفسَه.

اِجتمعت اللَّجنة لِلمرَّة الأُولَى في شهر مارس 1978م، وقُدِّمت اقتراحاتٍ أَوَّليَّةً لِلمِعيار على شكل نَمُوذَجٍ طَبقِيٍّ مُكوَّنٍ مِن سَبع طَبقاتٍ تَدعَم كُلٌّ مِنها مَجمُوعةً مُحدَّدةً مِن الخِدمات. وبعد 18 شهراً، طُرِحَت النُّسخة الأُولَى مِن المِعيار تحت عُنوان "نَمُوذَجٌ مَرجِعيٌّ لِلرَّبط بين الأَنظمة المَفتُوحة"، وقد سَبق وعرضنا هذا النَّمُوذَج بالتَّفصيل في الفصل الأَول مِن هذا الكِتاب، وفيه عَالجت الطَّبقتان الثَّالِثة، وهي طَبقة الشَّبكة، والرَّابِعة، وهي طَبقة النَّقل، الإشكالات الَّتي ناقشناها في ما سَبق، وتَخصَّصَت طَبقة الشَّبكة في الاهتمام بدعم خِدمة التَّشبيك.

تَوَاصل العمل في دَاربَا في السَّنوات اللَّاحِقة، فطُوِّر الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في عام 1980م لِيكُون برُوتُوكُولَ التَّشبيك في أَربَانِت، ودُعِمَت الوظائِف الَّتي يُقدِّمها، نحو التَّحكُّم بالتَّدفُّق، بواسطة برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل وهُو برُوتُوكُولٌ يُنشِئ قنواتٍ افتراضيَّةً مُستقلَّةً عن بِنيَة الشَّبكة الماديَّة تَمتدُّ بين طرفي الاتِّصال. في حين طَوَّرت اللَّجنة الاستشاريَّة الدَّوليَّة لِلاتِّصال الصَّوتي والبيانيِّ[68] نَمُوذَج شَبكةٍ خاصَّاً بها وسمَّته إكس 25،[69] ويُقدِّم هذا النَّمُوذَج مُقارَبةً مُختلِفةً لِلتَّشبيك تَعتمِد اعتماداً رئِيساً على إنشاء قنواتٍ افتراضيَّةٍ تَمتدُّ عبر شَّبكاتٍ مُتنوِّعةٍ لِتصلَ بين الطَّرفيَّات.[70]

---

65 لِلمزيد حول عمل بُوزَان انظر [ART15] في ثَبت المَراجِع.

66 أَصل الاسم International Organization for Standardization اختصاراً ISO هي مُنظَّمةٌ دَوليَّةٌ غير حُكوميَّةٍ تَأَسَّست عام 1947م، وتَختَصُّ بوضع مَعاييرَ دَوليَّة لقضايا التَّقانة والغذاء والصَّحة وغير ذلك، وتَعتَرِف بها أَكثرُ مِن 160 دولةً حول العالم.

67 وهُو مُختصَرٌ عن الاسم الأَجنبيِّ لِلَّجنة الفرعية وهُو Sub-Committee.

68 أَصل الاسم (بالفَرنسيَّة: Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique)، اختصاراً CCITT، هُو الاسم السَّابق لِقطاع تقييس الاتِّصالات Telecommunication Standardzsation Sector في الاتِّحاد الدَّوليُّ لِلاتِّصالات International Telecommunication Union، اختصاراً ITU، وهُو وَكالةٌ دَوليَّةٌ تابِعةٌ لِلأُمم المُتَّحدة مُختصَّةٌ بِتطوير مَعاييرَ عالَميَّةٍ لِتقانات الاتِّصالات والمَعلُومات.

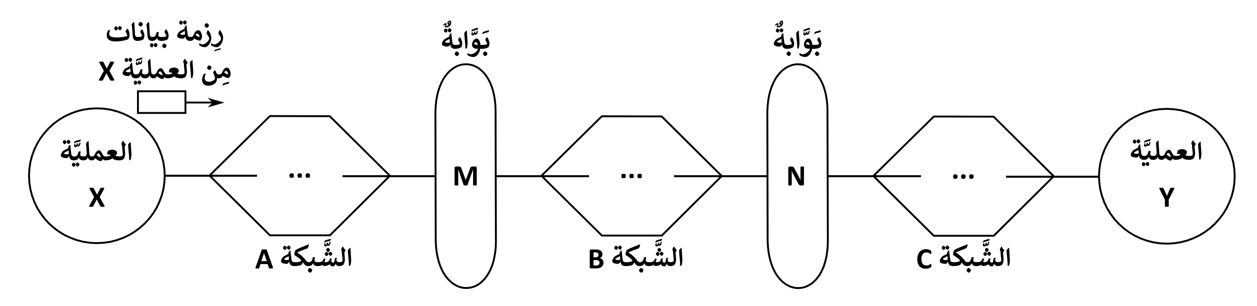
69 أَصل الاسم X. 25، هُو مِعيارٌ طَوَّرته اللَّجنة الاستشاريَّة الدَّوليَّة لِلاتِّصال الصَّوتيِّ والبيانيِّ في عام 1976م، يُعرِّف آليَّة الاتِّصال بين الطَّرفيَّات وشَبكة تبديل رِزم عامَّةٍ، انظر ص. 421 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

70 مِن أَجل مَزيدٍ مِن المَعلُومات عن هذه المُقاربة انظر [ART16] في ثَبت المَراجِع.

بِنية الشَّبكة

يُبيِّن الشَّكل (2-2) بِنية شَبكة بياناتٍ نَمُوذَجيةٍ افترضها سِيرف وخان في بحثهما الَّذي نشراه في العام 1974م. تَتكوَّن هذه الشَّبكة مِن:

- مَجمُوعةٍ مِن المَوارِد الحاسُوبية، نحوَ الطَّرفيَّات أَو الحواسِب، يُشار لها عادةً باسم المُضيفِين، يَنشُط في كُلٍّ مِنها عَدَدٌ مِن العمليَّات الَّتي تَلعَب دور مَصادِر البيانات الابتدائِيَّة ووِجهتها النِّهائِيَّة، وهي تَحتاج إلى الاتِّصال بعضُها مع بعضٍ عبر الشَّبكة.
- مَجمُوعةٍ مِن البوَّابات تَدعَم تقنيَّة تبديل الرِّزَم (وَاحِدةٌ على الأَقلِّ، انظر الشَّكل (2-3)).
- مَجمُوعةٍ مِن أَوساط الاتِّصال تَصِل بين البوَّابات نفسِها، وتَربِط أَيضاً بينها وبين المُضيفِين.



الشَّكل (2-2): بِنيةٌ لشَبكة بيانات افترضها سِيرف وخان في عام 1974م: ثلاث شَبكاتٍ تتصل بعضُها مع بعضٍ عبر بوَّابتين

اقترح جُون پُوستِل[71] في عام 1981م نَمُوذَجاً مُشابِهاً لِلنَّمُوذَج السَّابِق عند وصفه الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت،[72] وهُو مُوضَّح في الشَّكل (2-3)).

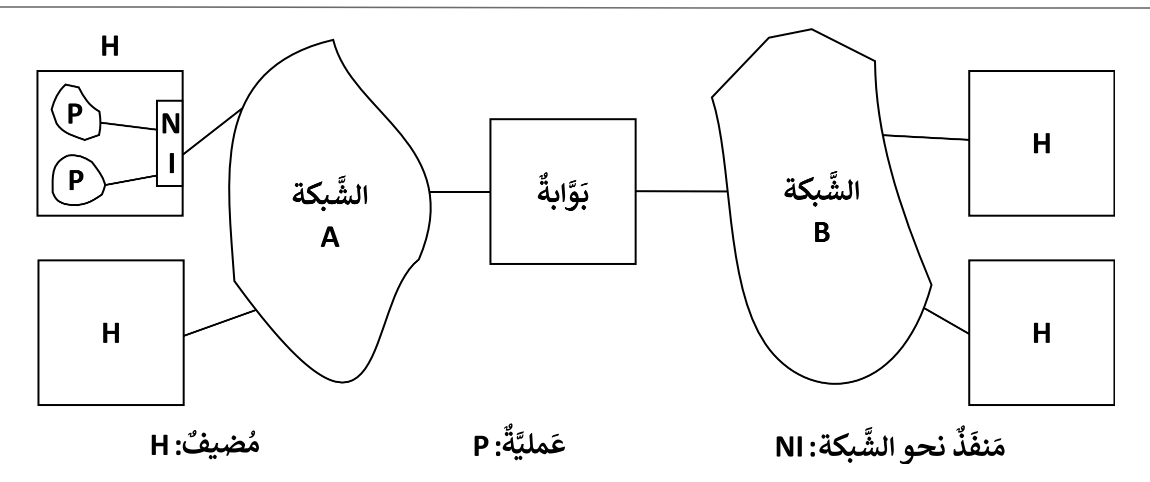
تَبعَاً لِلنَّمُوذَجين السَّابِقين، تُستخدَم برُوتُوكُولات اتِّصالٍ تَنشُط في ثلاث طَبقاتٍ مِن نمُوذج الرَّبط البينيِّ بين الأَنظمة المَفتُوحة وَفقاً لِما يَلي:

- برُوتُوكُول نَقلٍ يَصِل بين طَرفي الاتِّصال عبر قناةٍ افتراضيَّةٍ مُستقِلَّةٍ عن بِنية الشَّبكة الماديَّة.
- برُوتُوكُول تشبيكٍ يُحدِد نِظام عنونةٍ مُوحَّداً مَفهُوماً في الشَّبكات المُتنوِّعة جميعِها، ويَصِف هذا البرُوتُوكُول أَيضاً وَحدة بياناتٍ مِعياريَّةٍ لِيُصار إلى تبادُلها بين المُضيفِين، وتُسمَّى رِزمة البيانات.
- برُوتُوكُولات وَصلةٍ مُتنوِّعةٍ تَختلِف مِن شبكةٍ إلى أُخرى وتُحدِّد خصائِص هذه الشَّبكات الفريدة نحو مُعدَّلِ النَّقل.

---

[71] جُون پُوستِل Jon Postel (1943-1998) هُو عالِم حاسُوبٍ أَمريكيٌّ حَصل على درجتي البَكالُوريُوس والمَاچِستِير في الهندسة مِن جامِعة كَالِيفُورنية في لُوس أَنجُلُوس في سَنتي 1966 و1968م على التَّرتيب، وحَصل فيها أَيضاً على درجة الدُّكتُوراه في عُلُوم الحاسُوب في عام 1974م. لِپُوستِل إسهاماتٌ بارِزةٌ في وصف الإنترنِت وبرُوتُوكُولاتها وصفاً مِعياريّاً خاصَّةً مِن خلال تحريره لِلعديد مِن وَثائِق طَلب التَّعلِيقات ذات الأَهمية العالِية نحو وَثيقة الإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ووثيقة برُوتُوكُول التَّحكُّم في النَّقل واسماهما الرَّمزيَّان هُما: RFC 791 وRFC 793 على التَّرتيب.

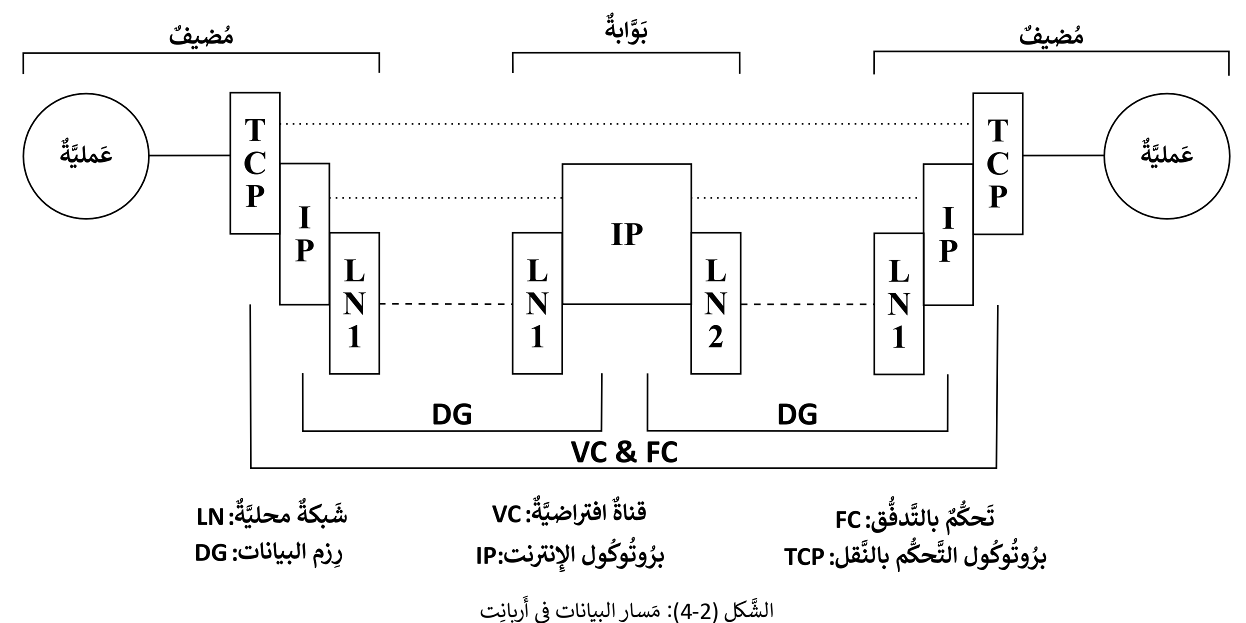
[72] نشر پُوستِل هذه الدِّراسة تحت اسم "برُوتُوكُول الإنترنِت الخاصّ بدَاربَا"، لِلمزيد حولها انظر [ART17] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (2-3): نَمُوذَج شَبكة بياناتٍ اقترحه بُوستِل: شَبكتان في كُلٍّ مِنها مُضيفَان يَتَّصلان عبر بَوَّابةٍ، ويَظهَر في أَحد المُضيفَين عمليَّتان ومَنفَذ نحو الشَّبكة.

يُظهِر الشَّكل (2-4) نَمُوذَجاً لِشَبكة بياناتٍ هي أَربَانِت مع توضيحٍ لِدور البرُوتُوكُولات، وفيها يُستعمَل:

- برُوتُوكُول نقلٍ هُو برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل، رُمِز له TCP.
- برُوتُوكُول تشبيكٍ هُو الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ورُمِز له IP.
- برُوتُوكُولا وَصلةٍ غير مُحدَّدين، رُمِز لهما LN1 وLN2 على التَّرتيب.

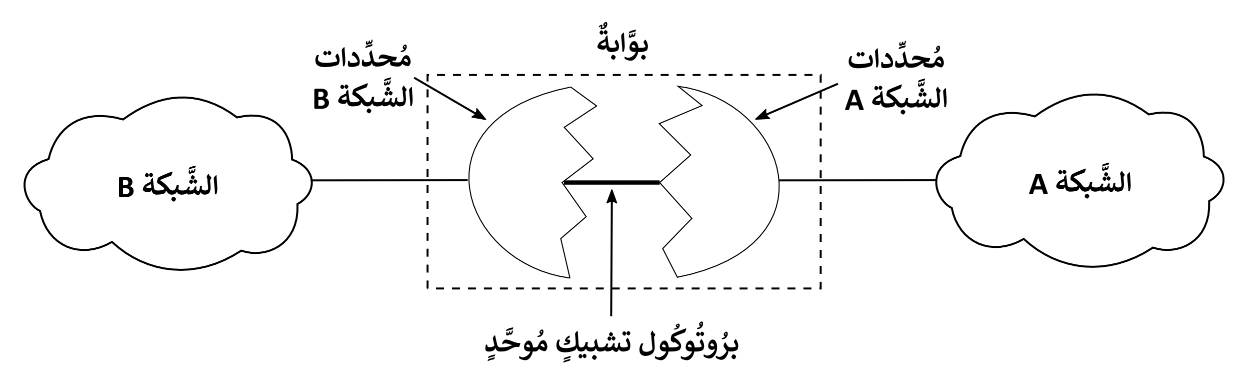


الشَّكل (2-4): مَسار البيانات في أَربانِت

تُنقَل البيانات عُموماً مِن عمليَّةٍ مَصدَرٍ مَوجُودةٍ في أَحد المُضيفِين إلى عمليَّةٍ وِجهَةٍ في مُضيفٍ آخرَ. ولِتحقيق ذلك، يَلزَم استخدام برُوتُوكُول التَّشبيك نفسِه في المُضيفَين لِيُصبحا قادِرين على تبادل وَحداتٍ مِعياريَّةٍ مِن البيانات، تُسمَّى رِزَم البيانات، وهي ذات طُولٍ أَعظمَ مُوحَّدٍ، وفي كُلٍّ مِنها عُنوانا مَصدَر رِزمة البيانات ووِجهتها، ويُحدِّد برُوتُوكُول التَّشبيك هذه التَّفاصيل كُلَّها.

تَرتبط الشَّبكات المُختلِفة، أي الَّتي تُشغِّل برُوتُوكُولات وَصلةٍ مُتنوِّعة، بعضُها مع بعضٍ بواسطة البوَّابات. والبوَّابة هي نُقطة اتِّصال مُشترَكةٌ بين شَبكتين أو أكثر، وهي مُصطلَحٌ مُكافِئٌ لكلمة مُوجِّه، وكان سِيرف وخان هُما أوَّل مَن استعمل هذا المُصطلَح للإشارة إلى الأَداة البينيَّة الَّتي تَربِط بين الشَّبكات المُختلِفة.

تتألف البوَّابة وَفقاً لِپُوستِل مِن قِسمين على الأَقلّ، يُمثِّل كُلٌّ مِنهما مُضيفاً مُستقِلاً مُتصِلاً مع شَبكة بياناتٍ، تَرتبِط هذه الأَقسام بعضُها مع بعضٍ عبر برُوتُوكُول التَّشبيك الَّذي يُوجِد طريقةً مُشترَكةً ومَفهُومةً لِنقل البيانات في ما بينها، ويَتطلَّب ذلك وجُود مُعرِّفاتٍ فريدةٍ ومُميزةٍ لِكُلِّ قِسمٍ، لكنَّها، في الوقت ذاتِه، تَتبَع بِنيةً مِعياريَّةً مُوحَّدةً، ويَعرِض الشَّكل (2-5) بِنية البوَّابة ودور برُوتُوكُول التَّشبيك فيها كما افترضه پُوستِل.



الشَّكل (2-5): مُخططٌ لبِنية البوَّابة وعلاقتها مع برُوتُوكُول التَّشبيك كما اقترحه پُوستِل

تَحتاج عمليَّة نقل رِزَم البيانات مِن شَبكةٍ إلى أُخرى إلى إنجاز البوَّابة لِلتَّوجِيه مِن أَجل تحديد مَسار الرِّزَم، وتَعتمِد هذه العمليَّة على وجُود عناوينَ فريدةٍ تَتبع بِنيةً مِعياريَّةً. يَهتمُّ برُوتُوكُول التَّشبيك بعمليَّة العَنونة هذه، ولكنَّه لا يُنجِز التَّوجِيه، بل هُي مُهمَّة برُوتُوكُولٍ آخرَ مُتخصِّصٍ يُسمَّى برُوتُوكُول التَّوجِيه. وكما سَبق وذُكِر في الفصل الأَوَّل، فإنَّ العنونة والتَّوجِيه هُما مِن خِدمات الطَّبقة الثَّالِثة تَبعاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة.

يَلزَم أن تَكُون البوَّابات قادِرةً على تغلِيف رِزَم البيانات وفكِّ تغلِيفها. في التَّغلِيف، تُعدَّل مُحتوَيات تَروِيسة برُوتُوكُول التَّشبيك بمُقتضَى الحاجة، وتُضاف تَروِيسة برُوتُوكُول الوَصلة العامِل في الشَّبكة حيث ستُوَجَّه البيانات. أمَّا في فكِّ التَّغلِيف، فتُستَخلَص رِزَمة البيانات القادِمة إلى البوَّابة مِن إطار البيانات الَّذي وَردت فيه مِن أَجل مُعالَجتها. تُسمَّى البوَّابات أَيضاً بوَّابات تغيير وَسط الاتِّصال[73] لِأَنَّها قد تَنقل رِزَم البيانات بين شَبكاتٍ تُشغِّل برُوتُوكُولات وَصلةٍ مُتعدِّدةٍ وقد تَربِط بين أَوساط اتِّصالٍ ذات بِنيةٍ ماديَّةٍ مُختلِفةٍ، مثلاً بين وَسط سِلكيٍّ ووَسطٍ غير سِلكيٍّ.

يَلزَم، بالإضافة لِذلك، أن تَكُون البوَّابة قادِرةً على تقطيع رِزَم بياناتٍ تُسمَّى الرِّزم الأَصيلة. تُقطِّع البوَّابة كلَّ رِزمةٍ أَصيلةٍ، بعد أن يُتَّخَذ قرار توجيهها، إلى رِزَمٍ أَصغرَ، ثُمَّ تُرسِلها عبر الشَّبكة. يَحصَل ذلك إذا كان طُول الرِّزَمة أكبرَ مِن قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى المَسمُوح بها في تلك الشَّبكة.

[73] أَصل الاسم Media-conversion gateway.

وظائِف برُوتُوكُول التَّشبيك

التَّشبيك هُو خِدمةٌ تَدعمها طَبقة الشَّبكة تَبعاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، ويُنظِّمها برُوتُوكُولٌ يُسمَّى برُوتُوكُول التَّشبيك، وهُو يُنجِز الوظائِف التَّالِية:

- دعم نمطٍ مُحدَّدٍ للاتِّصال
- ضبط جُودة الخِدمة
- عَنونة المُضيفِين
- تقطيع رِزَم البيانات وإِعادة تجميعها
- التَّنضِيد وفكُّ التَّنضِيد
- التَّوجِيه تَبعَاً لِلمَصدَر وتسجيل المَسار
- التَّحكُّم بالتَّدفُّق

وتُناقش الفقرات التَّالِية كُلّاً مِن هذه الوظائِف بالتفصيل.

دعم نمط الاتِّصال

يُحدِّد برُوتُوكُول التَّشبيك نمط الاتِّصال المَدعُوم في الشَّبكة، فإِمَّا أَن يَدعم اتِّصالاً مُهيَّأً أَو اتِّصالاً غير مُهيَّأٍ[74].

- الاتِّصال المُهيَّأ: يَعني أَن إِنشاء قناة الاتِّصال يَمرُّ بثلاثة مَراحِلَ: تَأسيس القناة ونقل البيانات عبرها ثُمَّ إِغلاقها عند الانتهاء. ويَتطلَّب ذلك إِنشاءً مُسبَقاً لِلاتِّصال قبل البدء بِتبادل البيانات ومُتابعةً له حتَّى نِهايته، يُمكِن أَن يَكُون الاتِّصال غير المُهيَّأ مَوثُوقاً أَو غير مَوثُوقٍ.[75] يُقدِّم هذا الاتِّصال عَدَداً مِن المِيزات مِنها إِمكانيَّة الحجز المُسبَق لِلمَوارِد، مثلاً: تحديد المَسارات الَّتي ستَسلُكها البيانات، ما يُؤدي إِلى استعمالٍ أَكثَر فعَّاليَّةً لِعرض النِّطاق المُتاح بسبب إِمكانية التَّحكُّم بالتدفُّق.
تَترافَق هذه المِيزات مع زِيادةٍ في تعقيد عمل البرُوتُوكُول الَّذي يَدعم هذا الاتِّصال وفي بِنية ووظيفة البوَّابات أَيضاً، بالإِضافة إِلى حُصُول تَأخيرٍ في توصيل البيانات إِلى وِجهتها النِّهائِيَّة.
- الاتِّصال غير المُهيَّأ: ويَتطلَّب إِرسال رِزَم البيانات فيه تزويدَ الطَّرفيَّات بعُنواني المَصدَر والوِجهة فقط، وسيُضاف هذان العُنوانان بعدها إِلى رِزَم البيانات كُلِّها، ولا يُفرَض في هذا النَّمط إِلزامٌ بإِنشاء اتِّصالٍ مُباشِرٍ بين المَصدَر والوِجهة قبل البدء بإِرسال البيانات، فلا يُراقِب المَصدَر ولا الوِجهة حركة البيانات في ما بينهما، ولا يُتابِعان المَسارات المُتنوِّعة الَّتي قد تَسلُكها الرِّزم.

---

[74] أَصل الاسم لِلاتِّصال المُهيَّأ Connection-oriented communication ولِلاتِّصال غير المُهيَّأ Connectionless communication، والتَّعاريف في هذه الفِقرة مُستنِدةٌ إِلى ما وَرد في ص. 86 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[75] لا تَعني كَلِمة "مَوثُوقٍ" في هذا السِّياق أَنَّ البيانات جميعَها ستَصِل إِلى وِجهتها وصُولاً مَضمُوناً، ولكنَّها تَعنِي وُجُود ضمانةٍ بأَنَّ مُستخدِم الشَّبكة سيُنبَّه إِذا لم تَصِل البيانات إِلى وِجهتها النِّهائيَّة. انظر ما وَرد في هذا الخصوص في ص. 1390 في [ART18] في ثَبت المَراجِع.

يَتميَّز هذا الاتِّصال ببساطة البِنية المَطلُوبة لِإدارته، وخاصَّةً في البوَّابات، وبقدرته على توفير مُعدَّل نقلٍ عَالٍ يُناسِب التَّطبيقات الَّتي تتطلَّب عَرض نِطاقٍ كبيرٍ. ولكنَّ الاتِّصال غيرَ المُهيَّأ غيرُ مَوثُوقٍ، أي أَنَّ برُوتُوكُول التَّشبيك الَّذي يَدعَم هذا النَّمط مِن الاتِّصال يَحتاج إِلى تَأمين مَوثوقيَّةٍ لِلاتِّصال عبر وَسيلةٍ أُخرى نحو برُوتُوكُول نَقلٍ يَعمَل في الطَبقة الرَّابِعة مِن نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة. بالإِضافة لذلك، فإِنَّ رِزَم البيانات قد تَصِل إِلى وِجهتها بِترتيبٍ مُخالِفٍ لِترتيب إِرسالها، ويَكُون على المُضيف الوِجهة عندها إِعادة ترتيبها لِاستخراج البيانات المُرسَلة استخراجاً صحيحاً.

ضَبط جُودة الخِدمة[76]

تَعنِي تحديد وتنظيم المُتطلَّبات الَّتي يَلزَم أَن تُؤَمِّنها الشَّبكة لِدعم تطبيقٍ مُعيَّنٍ. تَتنوَّع التَّطبيقات، لِذا يَكُون لها مُتطلَّباتٌ مُختلِفةٌ، كما تَتنوَّع بِنية الشَّبكات، وتَكُون بذلك قادِرةً على تَأمين جُودات خِدمةٍ مُتفاوِتةٍ.[77] تَأمين جُودة خِدمةٍ مُحدَّدةٍ في طَبقة الشَّبكة هي مَسأَلةٌ مُعقَّدةٌ لِأَنَّ هذه الطَّبقة تَربُط بين شَبكاتٍ مُتنوِّعةٍ في بِنيتها، وقد تَكُون جُودة الخِدمة المَدعُومة مُتفاوِتةً عبرها.

يُمكِن أَن يَدعم برُوتُوكُول التَّشبيك مَوثوقيَّةً[78] مُحدَدةً مِن خلال العمل بنَمط الاتِّصال المُهيَّأ، أَمَّا إِذا عمل بنمط الاتِّصال غير المُهيَّأ، وإِذا تباينت المَوثوقيَّة المَدعُومة في عِدَّة شَبكات، فبالإِمكان تصويبها عبر استعمال برُوتُوكُول نَقلٍ يُقدِّم وَظيفة المَوثوقيَّة.

أَمَّا ضبط مُتطلَّباتٍ أُخرَى نحو مُعدَّل الإِنتاجيَّة والتَّأخير فيَبلُغ مِن الصَّعوبة الغاية، وقد يَكُون مُستحيلاً في طَبقة الشَّبكة. فمَثلاً، في ما يَخصُّ مُعدَّل الإِنتاجيَّة، يُمكِن تصحيح الخطَأ في بعض الحالات فقط، عندما تَدعَم بِنية الشَّبكة حُلُولاً نحو توزيع الحمل على مَساراتٍ مُتعدِّدةٍ مُتوازِيةٍ بدلاً مِن مَسارٍ وحيدٍ، فيَرتفِع مُعدَّل الإِنتاجيَّة. أَمَّا في ما يَخصُّ التَّأخير، فما إِن يَحصُل، لا يَعُود بالإِمكان تدارُكه.

عَنونة المُضِيفِين

عُنوان المُضيف هُو مُعرِّفٌ فريدٌ يُميِّز مُضِيفاً أَو عُقدةً مُحدَدةً في الشَّبكة.[79] إِذا كانت العَناوين غير عشوائيَّةٍ بل مُوزَّعةً توزيعاً مَدرُوساً، فإِنَّ عُنوان المُضيف يُمكِن أَن يُساعِد في تحديد مَوقِعه. كما وَرد في قِسم بِنية الشَّبكة سابِقاً، تُوجَد حاجةٌ ماسَّةٌ في شَبكات البيانات لِاتِّباع مِعيارٍ مُوحَّدٍ لِلعنونة على مُستوَى طَبقة الشَّبكة لِتمييز العُقَد والطَّرفيّات الَّتي تتَّصل مع الشَّبكة تمييزاً فريداً.

---

[76] أَصل الاسم Quality of Service، اختصاراً QoS.

[77] هذا التَّعريف مُستنِدٌ إِلى ما وَرد في ص. 315 في [BKE01] ثَبت المَراجِع. أَمَّا [STD01] فيُورِد في ص. 27 التَّعريف التَّالي: «اسمٌ جامِعٌ يُطلَق على مَجمُوعةٍ مِن المُحدِدات الَّتي تَرتبِط بنقل البيانات في طَبقةٍ مرتبتها N عبر نقاط النَّفاذ للخِدمة ذات المَرتبة N». وانظر الفصل الأَوَّل مِن هذا الكِتاب مِن أَجل تعاريف الطَّبقة ونقطة النَّفاذ إِلى الخِدمة.

[78] مِن أَجل المُصطلَحات الوَارِدة في هذه الفقرة، انظر مواد: Reliability وThroughput وDelay في [BKA02] و[BKA06] في ثَبت المَراجِع الَّتي تُقابِل المَوثوقيَّة ومُعدَّل الإِنتاجيَّة والتَّأخير على التَّرتيب.

[79] انظر ما وَرد في ص. 13 في [BKE01] ثَبت المَراجِع.

يُؤَدِّي برُوتُوكُول التَّشبيك وَظيفة عَنونة المُضيفِين مُحدِداً كيفيَّة توليد واستعمال عَناوين الشَّبكة مِن خلال مُعَالجة الأَسئِلة التَّالِية:

- ما هُو طُول عُنوان المُضيف وما هُو حَجم فضاء العَناوين؟ وهل يُغطِّي حاجة الشَّبكة الحالِية والمُستقبليَّة؟
- ما هِي طريقة ترميز العُنوان؟ هل يُرَمَّز باستعمال بتاتٍ ثُنائِيَّةٍ أَم خاناتٍ عَشريَّةٍ؟ هل يَحتوي مَحارِفَ؟ ما هُو نِظام العدِّ المُستعمَل لِتمثيل العَناوين؟
- ما هِي الطَّريقة المُتَّبعة فِي تقسيم فضاء العَناوين؟

فِي ما يَخصُّ السُّؤَال الأَوَّل، انظر الفصل السَّابِع مِن هذا الكِتاب لِمَعرِفة تَأثير استنفاد فضاء عَناوين برُوتُوكُول التَّشبيك على مُدَّة استخدامه المُتوقَّعة، أَمَّا فِي ما يَخصُّ السُّؤَال الأَخير، فيُستحسَن أَن يَكُون للعَناوين بِنيةٌ هرميَّةٌ مُتوافِقةٌ مع تَصميم الشَّبكة، فتَشتَرِك الطَّرفيّات المُتقارِبة مَكانيَّاً بأَجزاءٍ مِن عَناوينها، ويُساعِد ذلك فِي تحديد مَواقع المُضِيفِين تَبَعاً لِعَناوينهم وفِي اختزال أَحجام جداول التَّوجِيه كما سنَرى بالتَّفصيل فِي الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

تقطيع رِزَم البيانات وإِعادة تجميعها[80]

التَّقطيع هُو تقسيم رِزَمة بياناتٍ، فيها تَروِيسةٌ وحُمُولةٌ، إِلى رِزَمتين أَو أَكثر فِي كُلٍّ مِنهما جُزءٌ مِن الحُمُولة السَّابِقة وتَروِيسةٌ (انظر الشَّكل (2-6)). فِي شَبكة بياناتٍ ذات قِيمة وَحدة نقلٍ عُظمَى[81] مُحدَّدةٍ، إِذا تَجاوز طُول الرِّزَم المُرَاد نقلها طُول الوَحدة العُظمَى، كان التَّقطيع لازِماً. أَمَّا إِعادة التَّجميع فهِي عمليَّة جمع القِطع السَّابِقة بعضُها مع بعضٍ لِإِعادة تشكيل رِزَمة البيانات الأَصيلة. وستُناقَش عمليَّة التَّقطيع فِي الإِصدارين الرَّابِع والسَّادِس مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت فِي الفصلين الثَّالِث والعاشِر فِي هذا الكِتاب على التَّرتيب.

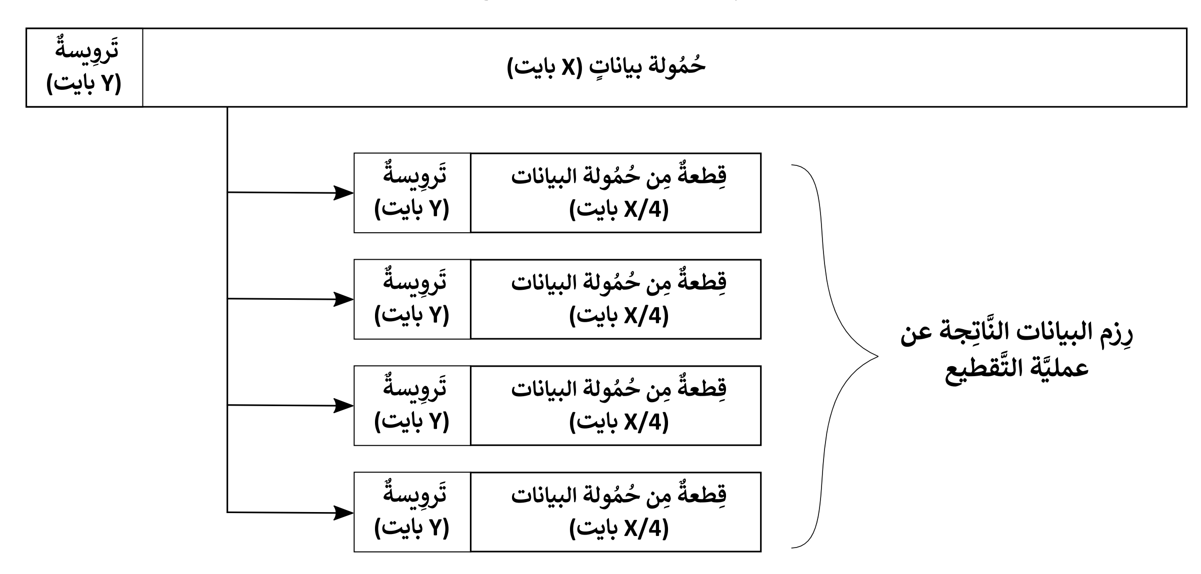
يُوجَد مَنهجان لِإِنجاز عمليَّتي التَّقطيع وإِعادة التَّجميع:

- التَّقطيع والتَّجميع على حدود الشَّبكة وفيه تُقطَّع رِزَم البيانات مُباشَرةً قبل إِرسالها عبر شَبكةٍ ما، ويُعاد تجميعها لِإِنشاء الرِّزَم الأَصل مُباشَرةً بعد خُروجِها مِن تلك الشَّبكة.[82]

[80] أَصل الاسم Fragmentation، وقد عُرِّبت هذه الكلمة، فِي ص. 124 فِي [BKA01] فِي ثَبت المَراجِع، على أَنَّها التَّجزُّؤ ولكنَّ تعريفها وَرَد لِمَجالٍ آخرَ، وفِي ص. 446 فِي [BKA02] على أَنَّها التَّشظية، وفِي ص. 32 فِي [BKA05] على أَنَّها تَجزِئَة. واخترنا مُصطلَح التَّقطيع لِتميزها عن التَّجزِئَة الَّتِي ستُناقش فِي الفصل الرَّابِع مِن هذا الكِتاب. أَمَّا إِعادة التَّجميع فهِي Reassembly، انظر ص. 82 وص. 962 فِي [BKA2].

[81] أَصل الاسم Maximum Transmission Unit، اختصاراً MTU، هِي الحدُّ الأَقصَى لِطُول رِزَمة البيانات الَّتِي يُمكِن نقلُها عبر شَبكة بياناتٍ ما، وتقاس بالبَايت، لِلمزيد انظر ص. 75 فِي [ART19] فِي ثَبت المَراجِع.

[82] يُوصَف التَّقطيع على حُدُود الشَّبكة باستعمال الكَلِمة: Intra-network، و-Intra هِي بادِئةٌ معناها ضِمن أَو فِي داخِل (انظر ص. 604 فِي [BKA2] فِي ثَبت المَراجِع)، فيُصبِح مَعنَى الاسم الحرفيُّ: داخِل الشَّبكة أَو فِي حُدُود الشَّبكة، وذلك لِأَنَّ القِطع النَّاتِجة عن التَّقطيع تَظلُّ مَحصُورةً فِي شَبكةٍ وَاحِدةٍ ولا تغادرها إِلَّا قِطعةً واحِدةً بعد إِعادة تجميعها. أَمَّا التَّقطيع العابِر لِحُدُود الشَّبكة، فيُوصَف باستعمال الكَلِمة Trans-network، و-Trans هِي بادِئةٌ تَعنِي عَبر أَو مِن خلال (انظر ص. 1247 فِي [BKA2])، لِأَنَّ القِطع النَّاتِجة عن التَّقطيع تَعبُر أَكثر مِن شَبكةٍ قبل أَن يُعاد تجميعها. لِلمزيد حول هذا الوَصف، انظر ص. 1390-1391 فِي [ART18].

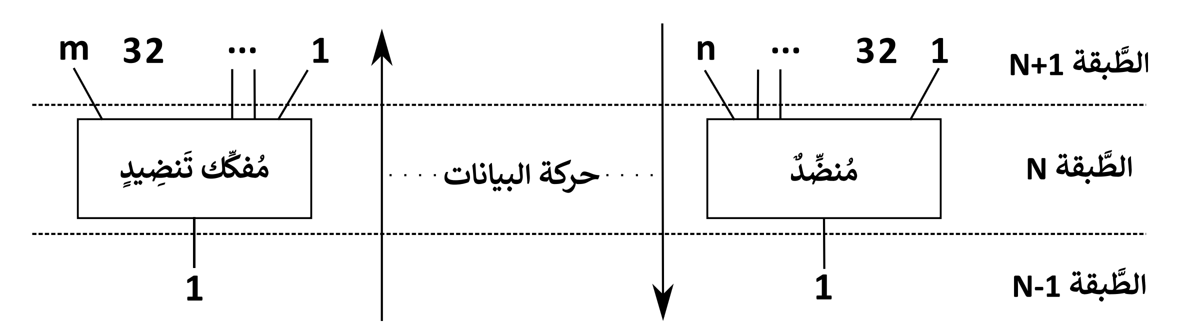


الشَّكل (2-6): مَبدَأ تقطيع رِزَم البيانات في طَبقة الشَّبكة

- التَّقطيع والتَّجميع العابِران لِحدود الشَّبكة وفيه تُقطَّع رِزَم البيانات مُباشَرةً قبل إرسالها عبر شَبكةٍ ما، ويُعاد تجميعها في الوِجهة النِّهائيَّة أو في عُقدةٍ ما قبل ذلك، أَي ليس بالضرورة أن يُصار إِلى تجميعها فور خُرُوجها مِن الشَّبكة الَّتي أُرسِلت عبرها أَوَّلاً.

التَّنضِيد وفكُّه[83]

التَّنضِيد هُو وظيفة برُوتُوكُولٍ يَنشُط في طَبقةٍ ما مَرتَبتها N، يُؤَدِّيها لِيَسمَح لِمَسار بياناتٍ وَحيدٍ فيها بدعم مَساراتٍ عديدةٍ هابِطةٍ مِن كِياناتٍ في الطَّبقة الَّتي مَرتَبتها $N + 1$. أَمَّا فكُّ التَّنضِيد فهُو وظيفةٌ أُخرَى لِبرُوتُوكُولٍ يَنشُط في الطَّبقة الَّتي مَرتَبتها N، يُنجِزها لِيَسمح لِمَسار بياناتٍ وَحيدٍ فيها بدعم مَساراتٍ عديدةٍ صاعِدةٍ مِن كِياناتٍ في الطَّبقة الَّتي مَرتَبتها $N - 1$ (الشَّكل (2-7)).[84]



الشَّكل (2-7): مُخطَطٌ صُندوقيٌّ يُظهِر مَسارات بياناتٍ عبر ثلاث طَبقاتٍ مُتتابِعة بوجود مُنضِّدٍ ومُفكِّك تنضِيدٍ

[83] التَّنضيد Multiplexing ويُسمَّى أَيضاً الفَلق Splitting، وفكّ التَّنضيد أَو تفريقه Demultiplexing (انظر ص. 48، 123 في [BKA06] في ثَبت المَراجِع). يُميِّز مِعيار الرَّبط البينيّ للأَنظمة المَفتُوحة بين التَّنضيد والفَلق بأَنَّ التَّنضيد هُو الوظيفة السَّابِقة إِن قَام بها كِيانٌ مُحدَّدٌ في الطَّبقة، أَمَّا الفَلق فهُو الوظيفةٌ نفسُها عندما تُقدَّمُ ضمن حُدُود الطَّبقة، ولكن مِن غير تحديد مَن قدَّمها، لِلمزيد انظر ص. 16-17 في [STD01].

[84] انظر ص. 3-4 في [RFC1180] في ثَبت المَراجِع.

بما أنَّ برُوتُوكُول التَّشبيك ناشِطٌ في طَبقة الشَّبكة، فهُو يُؤَدِّي وظيفة التَّنضِيد لِمَسارات البيانات الهابِطة مِن كِيانات طَبقة النَّقل نحو كِيانات طَبقة الوَصلة والعكس بالعكس، أي أنَّه يُؤَدي أيضاً وَظيفة فكِّ التَّنضِيد لِلمَسارات الصَّاعدة مِن كِيانات طَبقة الوَصلة إلى كِيانات طَبقة النَّقل.

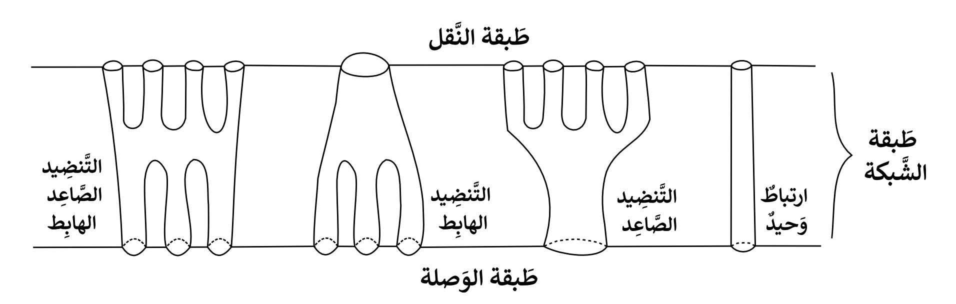
إذا دعم المُضيف أكثرَ مِن برُوتُوكُول نقلٍ أو أكثرَ مِن برُوتُوكُول وَصلةٍ، فعلى برُوتُوكُول التَّشبيك أن يُنضِّد مَسارات بياناتٍ مُتعدِّدةٍ هابِطةٍ مِن طَبقة النَّقل وأن يَفكَّ تنضيد مَسارٍ وَحيدٍ صَاعِدٍ مِن طَبقة الوَصلة. ويَنطبِق ما سَبق على الشَّكل (2-7) عندما تَكُون الطَّبقة الَّتي مَرتَبتها N، هي طَبقة الشَّبكة والطَّبقة الَّتي مَرتَبتها $N + 1$ هي طَبقة النَّقل والطَّبقة ذات المَرتَبة $N - 1$ هي طَبقة الوَصلة.

أمَّا إذا وُجِدت الحالتان السَّابِقتان في المُضيف نفسِه، فعلى برُوتُوكُول التَّشبيك أن يُنضِّد ويفكِّ التَّنضيد معاً، فإذا كان عَدَد المَسارات المُحتمَلة في طَبقة النَّقل هُو n وفي طَبقة الوَصلة هُو m، فإنَّ البرُوتُوكُول يَعمَل وَفقاً لِحركة البيانات: مُنضِّداً n إلى m إذا كانت الحركة هُبُوطاً، ومُفكِّك تَنضيدٍ m إلى n إذا كانت الحركة صُعُوداً.

ويُمكِن تلخيص ما سبق في أربع حالاتٍ:[85]

- ارتباطٌ واحِدٌ، أي يُوجَد مَسارٌ وَحيدٌ لِلبيانات عبر طَبقة الشَّبكة بين كِيانٍ مَوجُودٍ في طَبقة النَّقل ويُشغِّل أحد برُوتُوكُولاتها وكِيانٍ آخرَ مَوجُودٍ في طَبقة الوَصلة ويُشغِّل برُوتُوكُولاً مِن برُوتُوكُولاتها.
- التَّنضِيد الهابِط، ويَكُون لِمَساراتٍ هابِطةٍ مِن كِيانٍ وَحيدٍ في طَبقة النَّقل يُشغِّل برُوتُوكُول نقلٍ وحيد نحو كِيانات برُوتُوكُولاتٍ مُتعدِّدة في طَبقة الوَصلة تُشغِّل برُوتُوكُولات وَصلةٍ مُتنوِّعةٍ.
- التَّنضِيد الصَّاعِد ويَكُون لِمَساراتٍ صاعِدةٍ عبر طَبقة الشَّبكة مع وجود برُوتُوكُولٍ وَحيدٍ في طَبقة الوَصلة وبرُوتُوكُولاتٌ عديدة في طَبقة النَّقل.
- التَّنضِيد الصَّاعِد الهابِط، ويَكُون لِمَساراتٍ تَعبُر طَبقة الشَّبكة هابِطةً أو صاعِدةً، وفيه تَنشُط برُوتُوكُولاتٌ عديدةٌ في طَبقة الوَصلة وبرُوتُوكُولاتٌ عديدةٌ في طَبقة النَّقل.

ويُبيِّن الشَّكل (2-8) الحالات السَّابِقة الَّتي تُحدِّد أشكال مَسارات البيانات عبر طَبقة الشَّبكة، وهي مِن اليمين إلى اليسار: الارتباط الوَحيد والتَّنضِيد الصَّاعِد والتَّنضِيد الهابِط ثُمَّ التَّنضِيد الصَّاعِد الهابِط.



الشَّكل (2-8): حالات مَساراتِ البيانات في طَبقة الشَّبكة تَبعاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة

[85] أُصول الأَسماء الارتباط الوَحيد One-to-one correspondence والتَّنضيد الهابِط Downward multiplexing والتَّنضيد الصَّاعِدUpward multiplexing، لِلمزيد انظر ص. 428 في [ART01] في ثَبت المَراجِع.

التَّوجِيه تَبعَاً لِلمَصدَر وتَسجِيل المَسار

التَّوجِيه تَبعَاً للمَصدَر[86] هُو طَريقةٌ لِتَوجيه رِزَمة بياناتٍ، يُحدِّد فيها الطَّرف الَّذي يُولِّد الرِّزمة، أَي مَصدَرها، المَسار الَّذي ستَسلُكه عند انتقالها بين مَصدَرها ووِجهتها، وغالباً ما تَكُون مَعلُومات المَسار هِي عَناوين العُقد المُتتابِعة الَّتي تُشكِّله. أَمَّا تَسجِيل المَسار، فهُو آليَّةٌ لِإضافة مَعلُوماتٍ إلى ترويسة رِزمة البيانات في أَثناء عبُورها لِلمَسار.

يَمنَح التَّوجِيه تَبعَاً لِلمَصدَر مُرسِل رِزَمة البيانات إمكانيَّةً لِلتَّحكُّم بمَسارها، مثلاً لِمنعها مِن عُبُور شَبكاتٍ تَخضَع لِمُؤَسَّساتٍ مُحدَّدةٍ، أَو لِمنعها مِن المُرُور في شَبكةٍ تَحتَوي إجراءات أَمنٍ مُشدَّدةٍ قد تُؤَخِّر مُرورها أَو تُعيقه أَو تَمنعه. أَمَّا تسجيل المَسار، فيُمكِن أَن يُستخدَم مِن أَجل تحديد المَسار الواصِل بين عقدتين تَلعبان دورَ مَصدَر رِزمة البيانات ووِجهتها. ويُمكِن بعد ذلك إعادة استعمال المَسار نفسِه عند إرسال رِزَم الرَّدِّ، ولِذلك فائِدةٌ في حالتين: عندما يَكُون المَسار غير مُحدَّدٍ وعندما تَكُون الوِجهة مُتحرِّكةً.

التَّحكُّم بالتَّدفُّق

في شَبكات البيانات، تدفُّق البيانات هُو تَتَابُعٌ مِن رِزَم البيانات المُرسَلة مِن مَصدَرٍ مُحدَّدٍ إلى وِجهةٍ فَريدةٍ أَو مَجمُوعة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ أَو وِجهة بثٍّ نحو الأَقرب.[87] أَمَّا التَّحكُّم بالتَّدفُّق فهُو ضَبط حركة رِزَم البيانات الَّتي تَعبُر شَبكة بياناتٍ ما ضبطاً يَضمَن عدم حصول ازدحامٍ بينها.[88]

التَّحكُّم بالتَّدفُّق وَظيفةٌ ضَروريَّةٌ في شَبكات البيانات لِضمان عدم فِقدان البيانات بسبب امتلاء الذَّاكِرة في بوَّابةٍ ما على مَسار الرِّزَمة أَو في وِجهتها النِّهائِيَّة. يَلزَم أَيضاً التَّمييز بين التَّحكُّم بالتَّدفُّق والتَّحكُّم بالازدحام، فالأَوَّل يُستعمَل لِتقليل احتمال التَّخلُّص مِن البيانات، في حين يُستخدَم الآخر مِن أَجل تَحديد ما الَّذي يَلزَم التَّخلُّص مِنه إذا كانت العمليَّة إلزاميَّةً لا مَناصَ مِنها.

يُمكِن أَن تَعتمِد برُوتُوكُولات التَّشبيك على طريقةٍ تُسمَّى الضَّغط الخلفيّ[89] مِن أَجل التَّحكُّم بالتَّدفُّق، وهِي تُشبه في مَبدَئِها التَّحكُّم بتدفُّق الماء عبر أُنبوبٍ فيه صِمامٌ يَجمع الماء خلفه. كُلَّما اجتمع الماء ازداد الضَّغط على الصِّمام، حتَّى يَصِل عتبةً مُحدَّدةً لا يُطِيق الضَّغط بعدها، فيَفتَح طارِداً الضَّغط ومُفرِّغاً الماء ثُمَّ يَعُود لِيُغلِق ويَحجِز الماء مِن جديد. بهذه الطَّريقة تَحتفِظ البوَّابات بالقُدرة على تقييد حركة البيانات تقييداً مُؤَقَّتاً سواء كانت هذه البيانات قادِمةً مِن شَبكاتٍ مُحدَّدةٍ أَو ذَاهِبةً إليها.

---

[86] أَصل الاسمين التَّوجِيه تَبعَاً لِلمَصدَر Source routing وتسجيل المَسار Recording of route، لِلمزيد انظر ص. 1393 في [ART18] في ثَبت المَراجِع.

[87] يُناقِش الفصل الخامِس مِن هذا الكِتاب البثُّ فريد الوِجهة Unicast والبثُّ المَجمُوعاتيُّ Multicast والبثُّ نحو الأَقرب Anycast، وأَمَّا في ما يَخصُّ هذا التَّعريف، فانظر ص. 3 في [RFC6437] في ثَبت المَراجِع.

[88] أَصل الاسم Flow control، ويَستند هذا التَّعريف إلى ما وَرد في ص. 151 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع. أَمَّا مِعيار نَمُوذَج الرَّبط البينيّ للأَنظمة المَفتُوحة فيُعرِّفه على أَنَّه «وَظيفةٌ يَجري فيها التَّحكُّم بحركة البيانات المَنقُولة في طَبقةٍ وَاحِدةٍ أَو بين طَبقتين مُتتالِيتين» (انظر ص. 17 في [STD01]).

[89] أَصل الاسم Back pressure، للمزيد انظر ص. 1393 في [ART18] في ثَبت المَراجِع.

وقد تَحصُل عملية التَّقييد على أَساس التَّدفُّق أَيضاً، وفي هذه الحالة يَلزَم أَن تَكُون البوَّابة على دِرايةٍ بوضع التَّدفُّق الحالِي وغزارته، كما يُمكِن أَن تَحصُل العمليَّة على أَساس المَنفَذ الَّذي تَرِد البيانات مِنه أَو تَخرج عبره، وتَحتاج الحالتان كِلتاهُما إلى مُراقبة البوَّابة لِذاكرة التَّخزين المُخصَّصَة لِكُلِّ تدفُّقٍ أَو مَنفَذٍ.

التَّحكُّم بالتَّدفُّق وَظيفةٌ تَبلُغ مِن الأَهمِّيَّة الغاية، لِوجُود حاجةٍ دائِمةٍ لِطريقةٍ ما لِوَقِف أَيِّ سُلوكٍ تخريبيٍّ قد يُمارِسه مُستخدِمٌ وَحيدٌ أَو مَجمُوعةٌ مِن المُستخدِمين معاً في الشَّبكة، نحو غمرِها بكميةٍ كبيرةٍ مِن البيانات بهدف التَّأثير على الأَداء.

أَمثِلةٌ

الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[90]

هُو برُوتُوكُول تشبيكٍ يَعمَل في شَبكات البيانات ويُقدِّم وَظائِف ضبط جُودة الخِدمة وعَنونة المُضيفِين وتَّقطيع رِزَم البيانات وإِعادة تجميعها والتَّنضِيد والتَّوجيه تَبعَاً لِلمَصدَر. طُوِّر هذا البرُوتُوكُول ضِمن عمل وَكالة مَشاريع البُحوث الدِّفاعيَّة المُتقدِّمة، وطُرِح مِعياره الرَّسميُّ في عام 1981م.

يَدعَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت نمط اتِّصالٍ غير مُهيَّأٍ، أَي أَنَّه برُوتُوكُولٌ غير مَوثُوقٍ، ولكن يُمكِن تَأمين المَوثوقيَّة باستعمال برُوتُوكُول نقلٍ هُو برُوتُوكُول التَّحكُّم في النَّقل، لِيُؤَسِّس قنوات الاتِّصال بين أَطرافه المُتنوِّعة ولِيُديرها ولِيُغلِقها. بالإضافة لِذلك، يُخصِّص البرُوتُوكُول حَقل "نوع الخِدمة"[91] في ترويسته مِن أَجل تحديد جُودة الخِدمة، ويُمكِن ضَبط مُحدِّدات الأَحقيَّة ومُعدَّل الإنتاجيَّة والتَّأخير والمَوثوقيَّة باستعمال هذا الحقل.

يُعرِّف البرُوتُوكُول فضاءً لِلعناوين يُمثِّل مَجمُوعة عَناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت كُلِّها، وهي تَضُمُّ 2^{32} عُنواناً، أَي قُرابة 4.3 مليار عُنوانٍ تقريباً. وأَمَّا عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت فهُو مُعرِّفٌ رَقميٌّ طُوله 32 بتاً، غالباً ما يُكتَب بالتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط، ولكنَّه قد يُكتَب بالنِّظام الثُّنائِيِّ أَيضاً، يُقسَّم كُلُّ عُنوانٍ إِلى أَربعة أَقسامٍ تُسمَّى خاناتٍ،[92] طُول كُلٍّ مِنها 8 بتاتٍ.

تَصِف مُحدِّدات البرُوتُوكُول آليَّةً لِتقطيع رِزَم البيانات في المَصدَر و في البوَّابات ولإِعادة تجميعها في الوِجهة النِّهائِيَّة فقط، ويُحدِّد البرُوتُوكُول طُولاً أَصغرَ لِرِزَمة البيانات هُو 576 بايتاً، ويَلزَم على الوَحدات الَّتي تُشغِّل البرُوتُوكُول كُلِّها أَن تَدعم هذا الطُّول، بالإضافة لِوجود طُولٍ أَعظمَ نظريٍّ لِلرِّزَمة هُو 65536 بايتاً، وتَتراوح قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى في أَيِّ شَبكةٍ بين القِيمتين السَّابِقتين.

[90] أَصل الاسم Internet Protocol version 4 ويُعرَف اختصاراً بالاسم الرَّمزيِّ IPv4.

[91] أَصل الاسم Type of Service، اختصاراً ToS، انظر ص. 11 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

[92] أَصل الاسم هُو Octet، وهُو مُصطلَحٌ خاصٌّ بالإنترنِت يُستعمَل لوصف وَحدة بياناتٍ مُكوَّنةٍ مِن 8 بِتات (انظر ص. 279 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع)، وعرَّبها البعلبكيُّ في مَوردِه على أَنَّها مَجمُوعةٌ مِن ثمانية أَغراضٍ (انظر ص. 788 في [BKA2]).

يُخصِّص البرُوتُوكُول حَقلاً بطُول 8 بِتاتٍ في تَروِيسته لِدعم وَظيفة التَّنضِيد، وهذا الحَقل هُو حَقل "البرُوتُوكُول"،[93] وتُحدِّد هَيئَة أرقام الإنترنت المُخصَّصَة[94] قِيم التَّراميز المُستعمَلة وبرُوتُوكُولات الطَّبقات العُليَا المُقابِلة لها. بالإضافة لِذلك، يُخصِّص البرُوتُوكُول خِيارين لِدعم التَّوجِيه تَبعاً لِلمَصدَر وتسجيل المَسار وهُما الخِياران صاحِبا الرَّقمين 7 و9 على التَّرتيب في قائِمة خِيارات البرُوتُوكُول.[95] ولا يَدعَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت أيَّ آليَّةٍ لِلتَّحكُّم بالتَّدفُّق.

يُخصَص القِسم الثَّاني مِن هذا الكِتاب لِمُناقشة الإصدار الرَّابِع من برُوتُوكُول الإنترنِت ومُلحَقاته.

الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[96]

هُو برُوتُوكُول تشبيكٍ يُستعمَل في شَبكات البيانات ويُقدِّم وَظائِف جُودة الخِدمة والعَنونة والتَّقطيع والتَّنضِيد والتَّحكُّم بالتَّدفُّق. طُوِّر الإصدار السَّادِس في عام 1995م على يد مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت لِيكُون حلّاً نِهائِيّاً لِمُشكِلة استنفاد فضاء عَناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

يَدعَم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت نمط اتِّصالٍ غير مُهيَّأٍ، ويُمكِن الاستعانة ببرُوتُوكُول نقلٍ، نحو برُوتُوكُول التَّحكُّم في النَّقل، لِتَأمين مَوثوقيَّة الاتِّصال. بالإضافة لِذلك، تُخصِّص مُحدِّدات البرُوتُوكُول حَقلاً بطُول 8 بتاتٍ في تَروِيسة البرُوتُوكُول مِن أَجل دعم وَظيفة جُودة الخِدمة، ويُسمَّى هذا الحَقل "صِنفَ حركة البيانات"، وحَقلاً لِتنظيم التَّحكُّم بالتَّدفُّق هُو حَقل "لافِتة التَّدفُّق" وطُوله 20 بتاً.[97]

لِأنَّ الإصدار السَّادِس قد طُوِّر أَساساً لِمُعالجة مُشكِلة استنفاد فضاء عَناوين الإصدار الرَّابع، فإنَّ البرُوتُوكُول يُعرِّف فضاءً ذا حجمٍ هائِلٍ يَضمُّ ما يَقرُب مِن 3.4×10^{38} عُنواناً، طُول كُلٍّ مِنها 128 بتاً، تُكتَب هذه العَناوين باستعمال نِظام العدِّ سِتَّة العَشريِّ.

يُمكِن أن يَصِل طُول رِزَمة بيانات البرُوتُوكُول إلى 4 جِيگا بَايت نظريّاً، ويَستطيع البرُوتُوكُول اكتشاف أَصغرَ قيمةٍ لِوَحدة النَّقل العُظمَى لِمَسار أيِّ رِزَمة بياناتٍ قبل إرسالها باستعمال آليَّةٍ مُخصَّصَةٍ لِذلك،[98] ونتيجةً لِهذا، يُولِّد المُضيف المَصدَر رِزَم بياناتٍ بأَحجامٍ مُتناسِبةٍ مع ذلك، فلا يَحصُل التَّقطيع في البوَّابات أبداً، ويَلزَم على المُضيف الوِجهة عندها أن يُعِيد تجميع القِطع، النَّاتِجة عن التَّقطيع في المُضيف المَصدَر فقط، لِإعادة تجميع رِزَمة البيانات الأَصلية.

---

[93] أَصل الاسم Protocol field، انظر ص. 11 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

[94] أَصل الاسم Internet Assigned Numbers Authority، اختصاراً IANA، هي مُنظمةُ مَعاييرَ تُشرِف على تَحصيص فضاء عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت، بإصداريه الرَّابِع والسَّادِس، وعلى تَحصِيص أرقام الأَنظمة المُستقِلَّة وعلى إدارة المُستوَى الأَعلَى في نِظام تسمية النِّطاقات في الإنترنِت.

[95] انظر المُلحَق أ في نِهاية هذا الكِتاب.

[96] أَصل الاسم Internet Protocol version 6 ويُعرَف اختصاراً بالاسم الرَّمزيِّ IPv6.

[97] أَصل الاسمين صَنف حركة البيانات Traffic class ولافِتة التَّدفُّق Flow label، انظر ص. 6 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[98] انظر [RFC8201] في ثَبت المَراجِع.

تُخصِّص مُحدِّدات البرُوتُوكُول حَقلاً بطُول 8 بتاتٍ في تَروِيسته مِن أَجل دعم وَظيفة التَّنضِيد، وهُو حَقل "التَّروِيسة التَّالِية"[99]، وتُشرِف هَيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على ضَبط قِيمٍ مِعياريَّةٍ لِهذا الحَقل. وتُعرِّف المُحدِّدات أَيضاً تَروِيسةً مُخصَّصةً لِلتَّوجيه مِن أَجل دعم وَظيفة التَّوجِيه تَبعَاً لِلمَصدَر.[100]

يُخصَّص القِسم الرَّابِع مِن هذا الكِتاب لِمُناقشة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ومُلحَقاته.

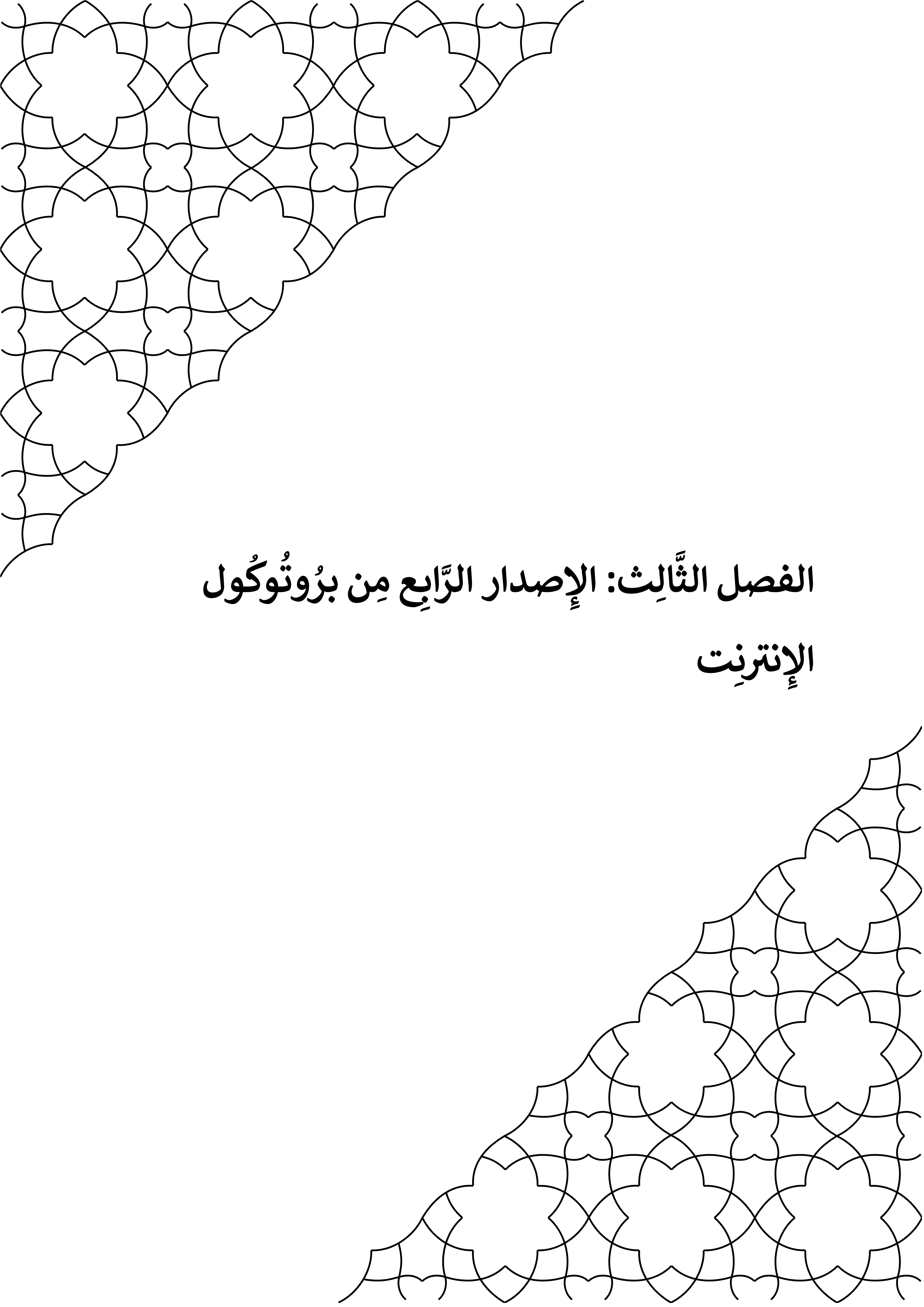
[99] أَصل الاسم Next header، انظر ص. 6 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[100] انظر المُلحَق ب في نِهاية هذا الكِتاب.



الباب الثَّانِي: الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل الثَّالِث: الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت

مُقدِّمةٌ

الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[101] هُو برُوتُوكُول تشبيكٍ يَعمَل في طَبقة الشَّبكة وَفقاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة. طُوِّر هذا البرُوتُوكُول في عام 1981م ضِمن عمل وَكالة مَشاريع البُحوث الدِّفاعيَّة المُتقدِّمة، وكان إحدَى الرَّكائِز الَّتي قَامت الإنترنِت على أساسها.

يُؤدِّي الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مَجمُوعةً مِن الوظائِف هي: ضَبط جُودة الخِدمة والعنونة والتَّقطيع وإعادة التَّجميع والتَّنضيد والتَّوجيه تَبعاً لِلمَصدَر، وتَصِف مُحدِدات البرُوتُوكُول كيفيَّة أداء هذه الوظائِف.

عَانَى البرُوتُوكُول، بعد سنواتٍ مِن استخدامه في الإنترنِت، ومع التَّوسُّع الكبير الَّذي شهدته هذه الشَّبكة في مَطلَع عَقد التِّسعينيَّات، مِن استنفاد فضاء عناوينه. طُوِّرت مَجمُوعةٌ مِن الحُلُول، لِمُعالَجة هذه المُشكِلة، ضِمن إستراتيجيَّتين، الأُولَى قَصِيرة الأَمد، وشَمَلت تطوير تقنيَّات ترجمة عُنوان الشَّبكة والتَّوجيه غير الصِّنفي بين النِّطاقات، والثَّانِية طويلة الأَمد وشَمَلت تطوير برُوتُوكُول تشبيكٍ بديلٍ لِيَحلَّ مَحلَّ الإصدار الرَّابِع، وهُو الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

يَحتاج الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت إلى عَدَدٍ مِن الوظائِف الَّتي تُقدِّمها برُوتُوكُولاتٌ أُخرَى، فهُو يَحصُل على عُنوان برُوتُوكُول الوَصلة الخاصِّ بالمُضيف بواسطة برُوتُوكُول اقتران العناوين، كما يَعتمِد على حزمة أَمن برُوتُوكُول الإنترنِت في تَأمين خصائِص الأَمن نحو الخصوصيَّة والسِّريَّة، وعلى برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت في مُعالجة القضايا الخاصَّة بالبثِّ المَجمُوعاتِيّ.

يُناقِش هذا الفصل الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهُو يَبدَأ بمُقدِّمةٍ لمُراجعة السِّياق التَّاريخيِّ لِتطوير البرُوتُوكُول، يَليها عَرضٌ لِمَبدَأ عمله ثُمَّ بِنية ترويسته وبعد ذلك شرحٌ لِلوظائِف الَّتي يُنجزها ويَنتهِي بعَرضٍ لِلمُشكِلات الَّتي وَاجهت تنفيذ هذا البرُوتُوكُول في شَبكات البيانات.

نبذةٌ تاريخيَّةٌ

كان تطوير مبدَأ تبديل الرِّزم في ستينيَّات القَرن العِشرين أَوَّلَ الخَطوات نحو تطوير برُوتُوكُول الإنترنِت. في تبديل الرِّزَم، تُنقَل المَعلُومات الرَّقميَّة على شكل قِطع بياناتٍ تُسمَّى رِزم البيانات، تَتكوَّن كُلٌّ مِنها مِن عَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن البايتات، ويَكُون نقل كُلِّ رِزمةٍ مُستقِلّاً عن نقل الرِّزم الأُخرى، ويَسمَح ذلك لِرزِمٍ مُختلِفة المَصدَر أو مُختلِفة الوِجهة بالوصول إلى قناة الاتِّصال الماديَّة نفسِها.

طَوَّر لويس پُوزَّان شَبكة سِيكلَاد[102] في النِّصف الأَوَّل مِن سبعينيَّات القَرن العشرين، مُطبِّقاً بنجاحٍ لِلمرَّة الأُولَى مَفهُوم رِزمة البيانات، وهي قِطعة بياناتٍ فيها المَعلُومات اللَّازِمة لِتعريف مَصدَرها ووِجهتها النِّهائيَّة، فأَصبح بالإمكان إنشاء شَبكات بياناتٍ تَدعُم قنواتٍ لا تَتطَلب إنشاء اتِّصالٍ مُسبَقٍ بين الأَطراف، بل تَعتمِد على عناوين المَصدَر والوِجهة المَحمُولة في

[101] أَصل الاسم Internet Protocol version 4، اختصاراً IPv4.

[102] رَاجِع ما جاء في شَأنهما في الفصل الثَّانِي مِن هذا الكِتاب.

رِزَم البيانات المُتبادَلة. لقد تَبنَّى مُصمِمو الإنترنِت الأَوائِل مَفهُوم رِزمة البيانات وطَوَّروا في تقنية تبديل الرِّزم لِنقلها، وكان لهذا القرار انعكاساتٌ عميقةٌ على تطوير مَجمُوعة البرُوتُوكُولات الخاصَّة بالشَّبكة.[103]

نَشَر ڤِينت سِيرف ورُوبرت خان في عام 1974م ورقةً بحثيَّةً بعُنوان "برُوتُوكُولٌ لِلاتِّصال البينيِّ في شَبكة الرِّزم"[104]، وَصَفا فيها برُوتُوكُول نقلٍ يَعمَل بين المُضيفِين في شَبكة تبديل رِزَمٍ، ويُقدِّم عَدَداً مِن الوظائِف المُرتبِطة برِزَم بياناتٍ: التَّحكُّم بالتَّدفُّق وعنونة العمليَّات والتَّحقُّق مِن الخطأ بين الطَّرفيَّات وغير ذلك، وسُمِّي بَرنامَج التَّحكُّم بالنَّقل.[105] ثُمَّ نُشرِت وثيقة طَلب تعليقاتٍ تُحدِد مُواصفات البَرنامَج تحت الاسم الرَّمزيِّ RFC 675.[106]

قُسِّمت الوظائِف الَّتي يُقدِّمها البَرنامَج لاحِقاً على برُوتُوكُولين هُما برُوتُوكُول الإنترنِت وبرُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل.[107] يَعمَل البرُوتُوكُولان في طَبقتين مُتتابِعتين مِن طَبقات نَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، هُما: طَبقة النَّقل، وتُقدِّم خِدماتٍ بين طَرفيَّةٍ[108] لِلتَّطبيقات الَّتي تَعمل في المُضيفِين، وطَبقة الشَّبكة، وتُقدِّم الخِدمات الخاصَّة برِزمة البيانات.

في ما يخصُّ برُوتُوكُول الإنترنِت، فقد طُوِّر ضِمن مَشروعٍ مُموَّلٍ مِن قِبَل وَكالة مَشاريع البُحوث الدِّفاعيَّة المُتقدِّمة [109]. طُرِحت إصداراتٌ تجريبيَّةٌ مُتعدِّدةٌ من البرُوتُوكُول بين العامين 1977 و1979م، حَمَلت مُعرِّفاتٍ هي: 0 و1 و4،[110] وفي ما يَلي مَجمُوعةٌ مِن وثائِق مُلاحَظات تجارب الإنترنِت الَّتي تَصِفُ إصدارات برُوتُوكُول الإنترنِت السَّابِقة وصُولاً لِلمِعيار الرَّسميِّ لِلإصدار الرَّابِع: [111]

- الوثيقة رقم 2: وهي مُؤَرَّخةٌ في شَهر أَغسطُس مِن العام 1977م، وجاءَت بعُنوان: "تعليقاتٌ على برُوتُوكُول الإنترنِت وبرُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل". وتُشدِّد على الحاجة لِلفصل بين وظائِف برُوتُوكُول الإنترنِت ووظائِف برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل، واقترحت الوثيقة أَوَّل تصوُّرٍ لبرُوتُوكُول الإنترنِت، واُستخدِم المُعرِّف 0 لِلإشارة إلى رقم الإصدار في ترويسة البرُوتُوكُول المُقترَحة.
- الوثيقة رقم 26: وهي مُؤرَّخةٌ في شهر فِبرَاير مِن العام 1978م، وجاءَت بعُنوان: "اقتراحٌ لِبنيةٍ جديدةٍ لِترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت"، وتَصِف الإصدار الأَوَّل مِن البرُوتُوكُول.

---

[103] لِلمزيد حول هذه الانعكاسات، انظر ما جاء في ص. 5 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[104] انظر ترجمة المُؤَلِّفين في الفصل السَّابِق. أَمَّا عُنوان الورقة الأَصل فهو: A protocol for packet Network Intercommunication، لِلمزيد انظر [ART14] في ثَبت المَراجِع.

[105] أَصل الاسم Transmission Control Program، اختصاراً TCP.

[106] انظر [RFC675] في ثَبت المَراجِع.

[107] أَصل الاسم Transmission Control Protocol، اختصاراً TCP أَيضاً، انظر [RFC793] في ثَبت المَراجِع.

[108] أَصل الاسم End-to-end.

[109] انظر ما جاء في شَأنها في الفصل الثَّانِي مِن هذا الكِتاب.

[110] يَلزَم الانتباه إلى أَن ترقيم الإصدارات يَبدَأ مِن الصِّفر، أَي أَنَّ الإصدار الأَوَّل هو الإصدار ذو الرَّقم 0.

[111] مِن أَجل وثائِق المُلاحظات على تجارب الإنترنِت الوارِدة في هذا القِسم وأُصول عناوينها، انظر و[IEN02] و[IEN26] و[IEN28] و[IEN41] و[IEN44] و[IEN54] على التَّرتيب في ثَبت المَراجِع.

- الوثيقة رقم 28: وهِي مُؤرَّخةٌ في شهر فِبرَاير مِن العام 1978م، وجاءَت بعُنوان: "مُسوَّدة توصيف الإصدار الثَّانِي لِبرُوتُوكُول الإنترنِت"، وتَصِف الإصدار الثَّانِي مِن البرُوتُوكُول.
- الوثيقة رقم 41: وهِي مُؤرَّخةٌ في شهر يُونيُو مِن العام 1978م، وجاءَت بعُنوان: "مُحدِّدات الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول التَّشبيك"[112] وهِي أوَّل وَثيقةٍ وَصفت الإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول، ولكنَّ بِنية التَّروِيسة فيها كانت مُختلِفةً عن الشَّكل النِّهائِيِّ الَّذي اعتُمد لاحِقاً.
- الوثيقة رقم 44: وهِي مُؤرَّخة في شهر يُونيُو مِن العام 1978م، وجاءَت بعُنوان: "أَحدث بُنَى التَّرويسات". وهِي تَصِف التَّعديلات الَّتي أُدخلت على ترويسة البرُوتُوكُول الوارِدة في الوثيقة رقم 41.
- الوثيقة رقم 54: وهِي مُؤرَّخةٌ في شهر سِبتمبَر مِن العام 1978م، وهِي بعُنوان: "مُحدِّدات الإصدار الرَّابِع من برُوتُوكُول التَّشبيك". وهِي أوَّل توصيفٍ لِلإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول تُستَخدَم فيه التَّروِيسة المُعتَمَدة في الشَّكل النِّهائِيِّ لِلإصدار الرَّابِع.

تَحوَّلت الوثيقة رقم 128 في شهر يناير مِن العام 1980م إلى أوَّل وثيقة طَلب تعليقاتٍ مُخصَّصة لِلبرُوتُوكُول وحَمَلت الاسم الرَّمزيَّ RFC 760، وجاءَت بعُنوان "مِعيار برُوتُوكُول الإنترنِت لِوزارة الدِّفاع".[113] وفي شهر سِبتمبَر مِن العام التَّالِي صَدَرت وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 791 بعُنوان: "برُوتُوكُول الإنترنِت"، وحَلَّت مَحلَّ الوثيقة السَّابِقة، وهِي ما تزال الوثيقة المِعياريَّة لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. اُعتُمِد البرُوتُوكُول تدريجيّاً خلال العامين التَّالِيين قبل أن يُصبِح برُوتُوكُول التَّشبيك الرَّئِيس في الشَّبكة بدءاً مِن 1 يناير 1983م.[114]

طُوِّر الإصدار الخامِس تحت مُسمَّى برُوتُوكُول التَّدفُّق في الإنترنِت، ولكنَّه لم يَتجاوز المرحلة التَّجريبيَّة.[115] بالإضافة لِذلك، وفي الفترة المُمتدَّة بين عامي 1988 و1993م، طُوِّر إصدارٌ جديدٌ مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِمُعالَجة الإشكالات الَّتي صَادَفها الإصدار الرَّابِع وبالتَّحديد مُشكِلة استنفاد عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَّتي ستُناقَش بالتَّفصيل في الفصل السَّابِع مِن هذا الكِتاب، وسُمِّيَ تسميةً اعتباطيَّةً بالإصدار السَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت،[116] لكنَّ عمليَّة التَّطوير لم تُستكمَل لاحِقاً.

أمَّا الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت فهُو وَرِيث الإصدار الرَّابِع، وطُوِّر بالأَساس لِحلِّ مُشكِلة استنفاد عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. في حين يَعتمِد الإصدار الرَّابِع عناوينَ بطُول 32 بتاً، وهو ما يُكافِئ وُجُود $4.3x10^9$ عُنواناً مُتاحاً في فضاء العناوين، فإنَّ الإصدار السَّادِس يَستخدِم عناوينَ بطُول 128 بتاً، ما يَسمَح بوجُود $3.4x10^{38}$ عُنواناً مُتاحاً في فضاء عناوينه. وُصِف الإصدار السَّادِس أوَّلاً في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1883، ثُمّ أُضيفت بعض التَّعديلات

[112] لم يُستخدَم الرَّقمان 2 و3 لِلإشارة إلى إصدار برُوتُوكُول الإنترنت، وحَصل الانتقال مِن 1 إلى 4 مباشَرةً. انظر موقع هيئة أرقام الإنترنِت المُخصَصة في [WEB01] في ثَبت المَراجِع.

[113] أصل الاسم DoD standard Internet Protocol، للمزيد انظر [RFC760] في ثَبت المَراجِع.

[114] مِن أجل خطة الانتقال انظر ما جاء في ص. 2 في [RFC801] في ثَبت المَراجِع، ومِن أجل عرضٍ لِلتَّفاصيل انظر ما جاء في ص. 2 في [RFC3789].

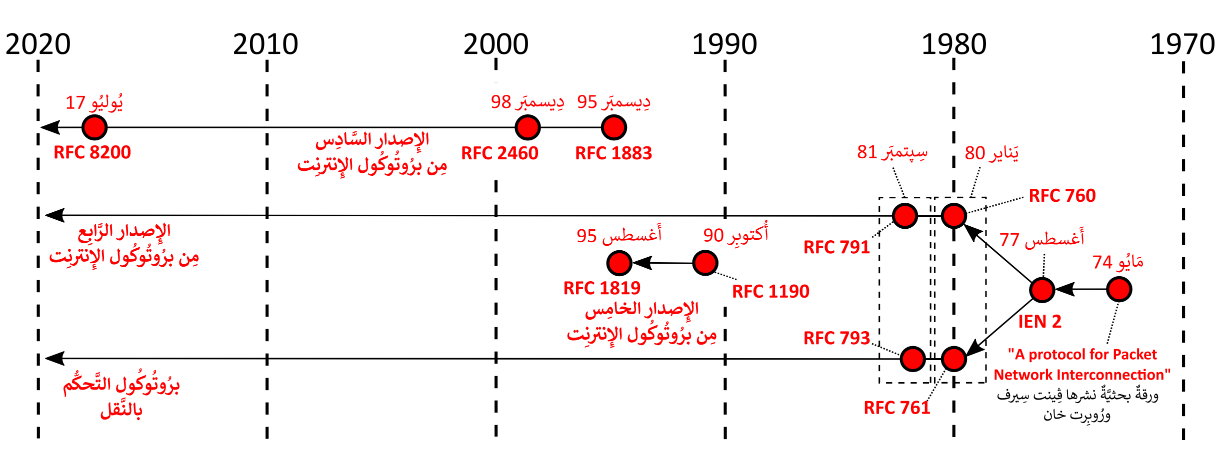
[115] أصل الاسم Internet Stream Protocol، لِلمزيد انظر [RFC1819] في ثَبت المَراجِع.

[116] وَفقاً لما جاء في ص. 7 في [RFC1475] في ثَبت المَراجِع، فإنَّ حُبَّ مُطوِّر البرُوتُوكُول لِلرَّقم 7 هُو سبب اختياره لِيَكُون رقماً لِلإصدار.

وأُصدِر مِعيارٌ جديدٌ لِلبرُوتُوكُول في العام 1998م تحت الاسم الرَّمزيِّ RFC 2460. وأخيراً، في عام 2017م، صَدرَت الوثيقة RFC 8200، الَّتي تَحتوِي التَّعديلات المُضافة إلى مِعيار البرُوتُوكُول، وسيُناقَش الإصدار السَّادِس بالتَّفصيل في الفصل العاشِر مِن هذا الكِتاب.

نَشَرت مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت في 1 أبريل 1994م وثيقة طَلب تعليقاتٍ تُفيد بتطوير الإصدار التَّاسِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ولكنَّ الخبر برمَّته كان كِذبة أبريل.[117]

يُبيِّن الشَّكل (3-1) المُخطَط الزَّمنيُّ لِأسلاف برُوتُوكُول الإنترنِت ولِلإصدارات الرَّابِع والخامِس والسَّادِس مِنه ولِبرُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل.



الشَّكل (3-1): خطٌّ زمنيٌّ لِمراحل تَطوُّر أسلاف برُوتُوكُول الإنترنِت ولِإصداراته المُتنوِّعة

مَبدَأ العمل

يَنشُط برُوتُوكُول الإنترنِت في طَبقة الشَّبكة تَبعاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة. في المُضيفِين، وفي حالة الإرسال، يُغلِّف البرُوتُوكُول وَحدة بيانات البرُوتُوكُول القادِمة مِن طَبقة النَّقل ويُمرِّر النَّاتِج إلى طَبقة الوَصلة. أمَّا في حالة الاستقبال، فيَستقبِل البرُوتُوكُول وَحدة بيانات البرُوتُوكُول القادِمة مِن طَبقة الوَصلة، ثُمَّ يُحدِّد فيما إذا كانت الرِّزمة ستُرسَل إلى أحد برُوتُوكُولات طَبقة النَّقل، أو إلى أحد البرُوتُوكُولات الأُخرَى العامِلة في طَبقة الشَّبكة، وفي كِلتا الحالتين يَفكُّ برُوتُوكُول الإنترنِت تغليف رِزمة البيانات، أي يُزِيل ترويستها، ثُمَّ يُمرِّر الرِّزمة إلى البرُوتُوكُول التَّالِي لِيُعالِجها.

يُحدِّد برُوتُوكُول الإنترنِت أيضاً فضاءً مِن العناوين الرَّقميَّة، الَّتي تُسمَّى عناوين الإنترنِت، ويَصِف بِنية هذه العناوين وأقسامَها، وتُسمَّى هذه الوظيفة بالعنونة. يَحصُل المُضيفُون في الشَّبكة كُلُّهم على عُنوان برُوتُوكُول إنترنِتٍ واحِدٍ على الأقلِّ، وقد يَلعَب هذا العُنوان دور مُعرِّفٍ لِلمُضيف في الإنترنِت.

يُوجَد شَكلان لِلعنونة، هُما العنونة الصَّنفيَّة والعنونة غير الصَّنفيَّة. في الأُولى، تُنظَّم عناوين فضاء البرُوتُوكُول ضِمن مَجمُوعاتٍ ذات أطوالٍ مُحدَّدةٍ سلفاً تُسمَّى أصنافاً قياسيَّةً، ويُشار لها أيضاً "بمَجمُوعة عناوين الفضاء"، أو "فضاء

[117] انظر [RFC1606] في ثَبت المَراجِع.

العناوين" اختصاراً، ويُمكِن تجزئِة المَجمُوعة إِلى عَدَدٍ مِن المَجمُوعات الجُزئيَّة الَّتِي تُسمَّى أَفضيةً جُزئِيَّةً. أَمَّا في العنونة غير الصَّنفيَّة، فلا أَصنافَ مُحدَّدة الطُّول، ويُمكِن تجزئِة فضاء العناوين بمُقتضَى الحاجة مِن غير قُيُودٍ.

لا يَدعَم الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت خِدمة العنونة الآليَّة، أَي يَلزَم تزويد المُضيفِين بعناوين البرُوتُوكُول يَدويَّاً أَو الاعتماد على التَّهيئَة الآليَّة الَّتِي يُقدِّمها برُوتُوكُولٌ آخرُ، نحو برُوتُوكُول تهيئَة المُضيف الآليَّة[118]. ولا يُوجِّه البرُوتُوكُول رِزَم البيانات، ولا بُدَّ مِن إِنجاز عمليَّة التَّوجيه يدويَّاً أَو الاعتماد على برُوتُوكُول تَوجيهٍ لِإتمامها آليَّاً، ويَرتبِط ذلك بِإتمام عمليَّة العنونة إِتماماً صحيحاً فهِي خُطوةٌ رئِيسةٌ لا بُدَّ مِنها لِنجاح عمليَّة التَّوجيه، فلا توجيه مِن غير العنونة.

يَستعمِل البرُوتُوكُول قَنوات اتِّصالٍ غير مُهيَّأةٍ،[119] أَي أَن رِزَم البيانات تُنقَل نقلاً غير مَوثُوقٍ عبر الشَّبكة، إِذا حَصل خطأٌ، لا يُمكِن استرداد البيانات المَفقُودة. تُؤَمِّن بعض برُوتُوكُولات طَبقة النَّقل، نحو برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل، قنوات اتِّصالٍ مُهيَّأَةً وآليَّةً لِاسترداد البيانات المَفقُودة، لِذلك يُمكِن الاعتماد عليه لِيعمَل مع برُوتُوكُول الإنترنِت.

يُشرِف البرُوتُوكُول، بالإِضافة لِذلك، على وظيفةٍ أَساسيَّةٍ أُخرَى هي تقطيع رِزم البيانات وإِعادة تجميعها، وفيها تُقطَّع أَيُّ رِزمة بياناتٍ قبل إِرسالها، سواء في المَصدَر أَو في أَيِّ عُقدةٍ على المَسار، إِذا كان طُولها يَتجاوز قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى في الشَّبكة حيث ستُرسَل، وتُنشَأ نتيجةً لِذلك قِطع بياناتٍ أَقصرَ طُولاً. أَمَّا إِعادة التَّجمِيع فتَجرِي في الوِجهة النِّهائِيَّة فقط عند استقبال قِطع البيانات، وهِي تَهدِف لِإعادة تشكيل رِزمة البيانات الأَصيلة كما كانت قبل التَّقطيع. باختصار، في المَصدَر، يَستقبِل برُوتُوكُول التَّشبيك وَحدةَ بيانات البرُوتُوكُول القادِمة مِن طَبقة النَّقل، وقد يُقطِّعها إِلى قِطعتين أَو أَكثرَ، وَفقاً لِقِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بطَبقة الشَّبكة، ثُمَّ يُضِيف ترويسته إِلى كُلِّ قِطعةٍ ناتِجةٍ، ويُمرِّر هذه القِطع إِلى طَبقة الوَصلة. أَمَّا في الوِجهة، فإِنَّ البرُوتوكُول يَستقبِل وَحدات بيانات البرُوتُوكُول القادِمة مِن طَبقة الوَصلة، ثُمَّ يُجمِّعها ويُولِّد رِزمة البيانات الأَصيلة، ثُمَّ يَفكُّ تغليفها، ويُمرِّرها إِلى البرُوتُوكُول المُناسِب إِمَّا في طَبقة الشَّبكة وإِمَّا في طَبقة النَّقل.

يَدعَم البرُوتُوكُول أيضاً آليَّةً لِتحديد جُودة الخِدمة الواجِب تقديمها لِكُلِّ رِزمة بياناتٍ على حِدة وآليَّةً لِتنضيد وفكِّ تنضيد مَسارات البيانات في مَصدَر الرِّزم وفي وِجهتها النِّهائيَّة على التَّرتيب، بالإِضافة إِلى وظيفةٍ اختياريَّةٍ يُمكِن استعمالها لِلتَّوجيه تَبعَاً لِلمَصدَر ولِتسجيل المَسار، وستُناقَش هذه الوظائِف كُلُّها وكيفيَّة إِنجازها بالتَّفصيل في هذا الفصل.

بِنية التَّروِيسة

تَتكوَّن رِزمة الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مِن ترويسة وحُمُولةٍ. يَتراوح طُول التَّروِيسة بين 20 و60 بايتاً، أَمَّا طُول الرِّزمة الإِجماليُّ، أَي التَّروِيسة والحُمُولة معاً، فقد يَصِل نظريَّاً إِلى 65535 بايتاً.

يُبيِّن الشَّكل (3-2) ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت، وهي تَتكوَّن مِن نوعين مِن الحُقُول: الإِلزاميَّة والخِيارات. أَمَّا الحُقُول الإِلزاميَّة، فهي ذات طُولٍ ثابِتٍ هُو 20 بايتاً، وتُمثِّل الحُقُول الَّتِي تُوجَد دائِماً في التَّروِيسة. وأَمَّا الخِيارات، فهي حُقُولٌ غير

[118] أَصل الاسم هُو Dynamic Host Configuration Protocol ويُعرَف بالاختصار DHCP، لِلمزيد انظر [RFC2131] في ثَبت المَراجِع.

[119] لِلتَّعريف الدَّقيق، انظر ما جاء في الفصل الثَّاني حول الاتِّصال غير المُهيَّأ، وفي هذا السِّياق، يَعنِي اعتماد نمط اتصالٍ غير مُهيَّأ أَنَّ برُوتُوكُول الإنترنِت لا يَحتفِظ بأَيِّ مَعلُوماتٍ عن حالة الاتِّصال تَخصُّ رِزَم البيانات، أَي يُمكِن أَن تَسلُك الرِّزم مَساراتٍ مُختلِفةٍ، وتَخضَع لِعمليَّات مُعالجةٍ مُتنوِّعةٍ على طُول المَسار بين المَصدَر والوِجهة، فتَصِل إِلى وجهتها النِّهائيَّة بغير ترتيب إِرسالها أَو بهوامشَ تَأخيرٍ زمنيَّةٍ مُتفاوتةٍ.

إلزاميَّةٍ قد تُلحَق بالتَّروِيسة، ويُمكِن أن يَصِل طُولُها الأعظم في رِزمةٍ وَاحِدةٍ إلى 40 بايتاً، وقد وُصِفت بِنية الحُقُول واستعمالاتها في مِعيار البرُوتُوكُول.



الشَّكل (3-2): ترويسة الإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

الحُقُول الإلزاميَّة

عَدَدها اثني عَشر حَقلاً، وفي ما يَلِي شرحٌ مُختصَر لِاستعمالاتها تَبعَاً لِترتيب ورُودها في التَّروِيسة:

- حَقل الإصدار: طُوله 4 بتاتٍ، يَحتوِي دائِماً القِيمة 4 في رُزم الإصدار الرَّابِع من برُوتُوكُول الإنترنِت كُلِّها.
- حَقل طُول التَّروِيسة: طُوله 4 بتاتٍ، يُحدِّد مَوقِع نهاية التَّروِيسة وبداية الحُمُولة، وهُو يَحتوِي قِيمةً تُمثِّل عَدَد الكلمات المُوجُودة في التَّروِيسة بطُول 32 بتاً (4 بايتات). بما أنَّ طُول التَّروِيسة مِن غير خِياراتٍ هُو 20 بايتاً، أي خَمس كلماتٍ، فإنَّ القِيمة الصُّغرى الصَّحيحة المُمكِنة لِهذا الحَقل هي 5.
- حَقل نوع الخِدمة: طُوله 8 بتاتٍ، يَحتوِي ترامِيزَ خاصَّةً تُحدِّد جُودة الخِدمة المَطلُوبة لِنقل رِزمة البيانات الَّتي تَحتوِي التَّروِيسة، وتحديداً مِن خلال ضَبط مُحدِّدات أَحقيَّة المُضيف والتَّأخير ومُعدَّل الإنتاجية والمَوثُوقيَّة. ذُكِرت قِيم المُحدِّدات المُستعمَلة لِضبط هذا الحَقل أولاً في مِعيار البرُوتُوكُول، ثُمَّ في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1349، ثُمَّ في الوثيقة RFC 2474،[120] وستُناقَش وظيفة ضَبط جُودة الخِدمة في ما سيَأتي في هذا الفصل عند مُناقشة وظائِف البرُوتُوكُول.

[120] انظر [RFC1349] و[RFC2474] في ثَبت المَراجِع.

- حَقل الطُّول الإجماليّ: طُوله 16 بتاً، يُحدِّد طُول رِزمة البيانات مُقدَّراً بالبايت. إنَّ القِيمةِ العُظمَى الَّتي يُمكِن ترميزها في هذا الحَقل هي 65535، وتُمثِّل نظريّاً الطُّول الأَعظم المُمكِن لِرزمة بيانات الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.
- حَقل المُعرِّف: طُوله 16 بتاً، يُميِّز الرِّزمة الأَصل والقِطع الَّتي تنتج عن عملية تقطيعها جميعها، ويُساعِد برُوتُوكُول الإنترنِت العامِل في الوِجهة على تمييز القِطع النَّاتِجة عن تقطيع رِزمٍ مُختلِفةٍ بعضُها عن بعضٍ لإعادة تجميعها لِإنتاج الرِّزم الأَصيلة مُجدَّداً. وتَصِف الوثيقة RFC 6864 كيفيَّة اختيار قيمة هذا الحَقل والإجراءَات اللَّازِم اتباعها مِن أَجل ذلك.[121]
- حَقل الأَعلام: طُوله 3 بتاتٍ، يَحتوِي عَلَمين هُما عَلَم عدم التَّقطيع، ويُستخدَم لِمنع تقطيع الرِّزمة تحت أيِّ ظرفٍ، وعَلَم المَزيد مِن القِطع، ويُستخدَم لِتحديد القِطعة الأَخيرة في مَجمُوعة القِطع الَّتي نَتجَت عن تقطيع رِزمةٍ ما. لا تُستخدَم هذه الأَعلام إلا إذا قُطِّعت الرِّزمة.[122] وستُناقَش وظيفتا التَّقطيع وإعادة التَّجميع في ما سيَأتي مِن هذا الفصل عند مُناقشة وظائِف البرُوتُوكُول.
- حَقل إزاحة القِطعة: طُوله 13 بتاً، يُستخدَم فقط عندما تَكُون الرِّزمة قِطعةً ناتِجةً عن تقطيع رِزمةٍ أَصلٍ أكبَر، وتُمثِّل هذه القِيمة إزاحة القِطعة عن مَبدَأ الرِّزمة الأَصيلة. يُساعِد هذا الحَقل في إعادة تجميع القِطع تجميعاً سليماً لإنتاج الرِّزمة الأَصل في الوجهة، خاصَّةً إذا وَصلت القِطع بترتيبٍ مُغايرٍ لِترتيب الإرسال. أَمَّا إذا لم تَكُن الرِّزمة قِطعةً مِن رِزمةً أَكبَر، فلا يُستعمَل هذا الحَقل ويُضبَط إلى القِيمة الصِّفريَّة. تكون قِيمة الإزاحة المُخزَّنة في هذا الحَقل مَقسُومةً على 8، أي إذا احتوَى الحَقل القِيمة 1 فإنَّ قِيمة الإزاحة الحقيقيَّة هي 8 بايتاتٍ، وأكبر قيمةٍ مُمكنةٍ في هذا الحَقل هي 2^{13}=8192، وتُكافِئ إزاحةً عن المَبدَأ بِمقدار 65536 بايتاً.
- حَقل زمن حياة الرِّزمة: طُوله 8 بتاتٍ، يَحتوِي عَددَ القَفزات الأَعظم الَّذي يُسمَح للرِّزمة بالقيام به.[123] وأكبر قِيمةٍ يُمكِن أَن يَحتويها الحَقل هي 2^8=255، وتُمثِّل عَدَد القفزات الأَكبر المُمكِن في مَسار رِزمة بياناتٍ تَخصُّ الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. يُنقِص كُلُّ موجِّهٍ يُعالِج الرِّزمة قِيمة هذا الحَقل بمقدار 1، وعندما تَصِل قِيمته إلى الصِّفر يَلزَم التَّخلُّص مِن الرِّزمة.
- حَقل البرُوتُوكُول: طُوله 8 بتاتٍ، يُستعمَل لِأَداء وَظيفة التَّنضيد، وستُناقَش هذه الوظيفة لاحقاً في هذا الفصل.
- حَقل التَّحقُّق الجمعيّ للتَّروِيسة: طُوله 16 بتاً، يَحتوِي نِتاج خوارزميَّة التَّحقُّق الجمعيّ الَّتي تُطبَّق على حقول التَّروِيسة فقط. تشرح مُحدِدات البرُوتُوكُول الخوارزميَّة المُتَّبعة لِحِساب قِيمة هذا الحَقل،[124] ويَلزَم الانتباه إلى

---

[121] انظر [RFC6864] في ثَبت المَراجِع.

[122] أُصول أَسماء الأَعلام هي Do not Fragment، اختصاراً DF، لِعَلَم عدم التَّقطِيع، و More Fragment، اختصاراً MF، لِعَلَم المزيد مِن القِطع.

[123] في هذا السِّياق، القَفزة Hop هي الانتقال مِن شبكة بياناتٍ إلى أُخرى عبر مُوجِّه. وعَدَد القَفزات هو مُؤشِّرٍ لِتحديد جُودة مَسارٍ ما في شَبكات البيانات، انظر ص. 170 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[124] تُحسَب قِيمة هذا الحَقل بالشَّكل التَّالِي: هُو المُتمِّم الأَوَّل ذو الطُّول 16 بتاً لمَجمُوع كلمات تروِيسة البرُوتوكُول الَّتي يَبلُغ طُول كُلٍّ مِنها 16 بتاً مع استثناء قِيمة حَقل التَّحقُّق. انظر النَّصَّ الأَصيل في ص. 14 في [RFC791]. على سبيل المِثال (هذا المِثال مُقتبَسٌ مِن صَفحة IPv4←

ضرورة إعادة حِساب قِيمة هذا الحَقل عند إجراء أيِّ تغييرٍ في مُحتوَى التَّروِيسة في أثناء انتقالها عبر الشَّبكة، نحو حالات إنقاص قِيمة زمن الحياة أو إجراء ترجمةٍ لِعُنوان الشَّبكة.

- حَقل عُنوان المَصدَر: طُوله 32 بتاً، يَحتوِي عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت لِلمُضيف الَّذي ولَّد الرِّزمة، والَّذي يُسمَّى مَصدَر الرِّزمة.
- حَقل عُنوان الوِجهة: طُوله 32 بتاً، يَحتوِي عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت لِلوِجهة النِّهائيَّة للرِّزمة، والَّتي تُسمَّى وِجهة الرِّزمة.

الحُقول الاختياريَّة

تَشمُل حُقول الخِيارات، قد تَحتوِي التَّروِيسة خِياراً وَاحِداً أو أكثرَ، بطُولٍ أعظمَ قد يَصِل إلى 40 بايتاً في الرِّزمة الوَاحِدة، وقد لا تَحتوِي أيَّ خِيارٍ على الإطلاق. إنَّ ما هُو اختياريٌّ هُو وُجُود الخِيارات في التَّروِيسة، أمَّا دعمُها فهو إلزاميٌّ في المُضيفِين والمُوجِّهات كلِّها وفي سائِر المُعدَّات الَّتي تدعم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

لا طُولَ ثابِتاً لِلخِيار، ولكِن لِلخِيارات كُلِّها بِنيةٌ مُشترَكةٌ ولا يَشذُّ عنها إلَّا خِياران فقط هُما خِيار "نِهاية قائِمة الخِيارات" وخيار "لا عمليَّة". وَفقاً لِهذه البِنية، يَتألَّف كُلُّ خِيارٍ مِن ثلاثة حُقُولٍ هي حَقل النَّوع وطُوله 8 بتاتٍ، وحَقل الطُّول وطُوله 8 بتات أيضاً، وحَقل القِيمة وهُو ذو طُولٍ مُتغيِّرٍ بمُقتضَى الخِيار.

يَتكوَّن حَقل النَّوع مِن ثلاثة حُقُولٍ فِرعيَّة هي (الشَّكل (3-3)):

- عَلَم النَّسخ: هُو بتٌ وَحيدٌ، يُستخدَم في حالة تقطيع رِزمة البيانات إلى عَدَدٍ مِن الرِّزم الأقصر طُولاً، ويُحدِّد فيما إذا كان الخِيار سيُنسَخ إلى الرِّزم كُلِّها، لو كانت قِيمته 1، وإلَّا فسَتكُون قِيمته 0.
- صَنف الخِيار: يَتحدَد ببتين، فإن كانت قِيمتهما ($(0)_{10} = (00)_2$) كان الخِيار لِأغراض التَّحكُّم وإن كانت ($(2)_{10} = (10)_2$)، كان خِياراً لِلتَّنقيحِ مِن الأخطاء ولِلقِياسِ.
- الرَّقم: طُوله 5 بتاتٍ، وهُو قِيمةٌ عَدَديَّةٌ مُميَّزةٌ تُعرِّف كُلَّ خِيارٍ على حِدة.

---

header checksum في النِّسخة الإنكليزيَّة مِن موسُوعة وِيكيبيديا كما ظَهرت بتاريخ 29-1-2021): لو كانت قِيمة التَّروِيسة وَفقاً لِنِظام العدِّ ستة العَشريِّ، قُسِّمت التَّروِيسة إلى كلماتٍ طُول كُلٍّ مِنها 16 بتاً، ووُضِع سطرٌ تحت حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ:

4500 0073 0000 4000 4011 B861 C0A8 0001 C018 00C7

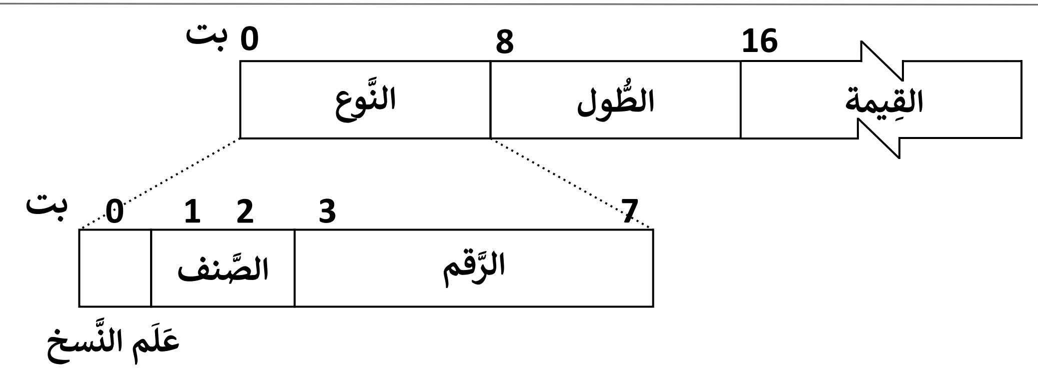
ويَكُون مَجمُوع الحُقُول بعد استثناء حَقل التَّحقق الجمعيِّ:

4500+0073+0000+4000+4011+C0A8+0001+C018+00C7=2479C

ثُمَّ تُجمَع المَرتبة الخامِسة مع المَراتِب الأربعة الأُولَى لِلحفاظ على طُول القِيمة ضِمن حُدُود 16 بتاً:

2 + 479C = 479E

المُتمِّم الأوَّل هُو العَدَد الَّذي يُتمِّم النَّاتِج إلى القِيمة الواحديَّة، أي $(FFFF)_{16}$، وقِيمته في هذه الحالة هي $(B861)_{16}$.



الشَّكل (3-3): بِنية خِيار الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت

قد تَحتوِي التَّروِيسة أكثَر مِن خيارٍ، ويَفصِل بين الخِيارات عندها خِيارٌ خاصٌّ يُسمَّى خِيار "لا عمليَّة". بالإضافة لِذلك، يَكُون خِيار نِهاية قائِمة الخِيارات هو الخِيار الأَخير دائِماً، ويَلزَم أن يَنتهِي عند حدود كلمةٍ بطول 32 بت، فإن لم يَتحقَّق ذلك، أُكمِل النَّقص بعَدَدٍ مِن بتات الحَشو.[125]

نادِراً ما تُستعمَل خِيارات البرُوتُوكُول، لِإمكانيَّة استعمالها لِشنِّ هَجماتٍ ولِضخامة حجم الإنترنِت.[126]

تُشرِف هَيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على تنظيم القِيم المِعياريَّة لِخيارات الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت،[127] انظر المُلحَق أ مِن أَجل الاطِّلاع على قائِمةٍ كامِلةٍ لِخِيارات البرُوتُوكُول.

الوظائِف

ضَبط جُودة الخِدمة

تُضبَط جُودة الخِدمة باستعمال حَقل نوع الخِدمة في تروِيسة البرُوتُوكُول. حَدَّدت وثيقة مِعيار الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت بِنيةً مُحدَّدةً لِهذا الحَقل لِتتيحَ إمكانيَّة إجراء مُقايضةٍ بين ثلاثة عناصرَ لِوصف جُودة الخِدمة المَطلُوبة: التَّأخير ومُعدَّل الإنتاجيَّة والمَوثُوقية. يُحجَز بتٌّ واحِدٌ لِكُلِّ عُنصرٍ ويُضبَط إلى القِيمة 0 لِلإشارة لِحاجة الرِّزمة لِجُودة خِدمةٍ تَتَضمَّن تأخيراً اعتيادِيّاً أو مُعدَّل إنتاجيَّةٍ اعتيادِيّاً أو مَوثُوقيَّةٍ اعتياديَّةً على التَّرتيب، ويُضبَط إلى القِيمة 1 لِلإشارة إلى الحاجة لِتَأخيرٍ مُنخفِضٍ ولِمُعدَّل إنتاجيةٍ مُرتفِعٍ ولِمَوثُوقيَّةٍ مُرتفِعةٍ على التَّرتيب أَيضاً.[128] وخُصِّصت ثلاثة بتاتٍ في حَقل نوع الخِدمة لِتحديد أَحقيَّة الرِّزمة بالمُعالَجة، ووَصَف المِعيار ثمانية تراميزَ لِهذه البِتات، ويُبيِّن الشَّكل (3-4) البِنية السَّابِقة.

---

[125] أَصل الاسم Padding.

[126] انظر ما جاء في ص. 192 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[127] انظر [WEB02] في ثَبت المَراجِع.

[128] انظر ما جاء في ص.12 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع

0	1	2	3	4	5	6	7
الأحقيَّة			التأخير	الإنتاجيّة	الموثوقيّة	0	0

الشَّكل (3-4): بِنية حَقل نوع الخِدمة كما اقترحتها وثيقة مِعيار الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

طُرِح مَفهُوم الخِدمات المُتمايزة في عام 1998م بصفته مِعماريةً تُحدِّد آليَّةً بسيطةً وقابِلةً لِلتَّوسُّع لِتصنيف وإدارة البيانات مِن أَجل تأمين جُودة الخِدمة في الشَّبكات الَّتي تَدعَم برُوتُوكُول الإنترنِت.[129] وأُعِيدت أَيضاً هيكلة البتات سَّابِقة الذِّكر، فدُمِجت معاً وأُنشِئ حَقلٌ جديدٌ سُمِّي حَقل ترامِيز الخِدمات المُتمايزة (الشَّكل (3-5)).[130]

0	1	2	3	4	5	6	7
ترامِيز الخِدمات المُتمايزة						0	0

الشَّكل (3-5): بِنية حَقل نوع الخِدمة تَبعَاً لِمَفهُوم الخِدمات المُتمايزة

يَعتمِد مَفهُوم الخِدمات المُتمايزة على تصنيف رِزم البيانات إلى عَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن الأَصناف، وإضافة مُعرِّفٍ لهذه الأَصناف إلى حَقل نوع الخِدمة، ثُمَّ تهيئة المُوجِّهات في الشَّبكة لِتُميِّز بين الرِّزم وَفقاً لِلأَصناف السَّابِقة، فيُعامَل كُلُّ صَنف بطريقةٍ تَتوافَق مع أَولويته. وَفقاً لِهذا المَفهُوم، تُصنِّف المُوجِّهات على أَطراف الشَّبكة رِزمَ البيانات، في حين تُعالِج المُوجِّهات في قَلب الشَّبكة الرِّزم فقط، وبهذا تَظلُّ عمليَّة ضَبط جُودة الخِدمة المُقدَّمة في قلب الشَّبكة سريعةً وبسيطةً.

تُسمَّى الشَّبكة، حيث تُوجَد مَجمُوعة المُوجِّهات السَّابِقة، بنِطاق الخِدمات المُتمايزة، ويَتعامل أَيُّ مُوجِّهٍ مِنها مع كُلِّ رِزمةٍ وَارِدةٍ تعامُلاً مُنفصِلاً لِتطبيق جُودة الخِدمة المُلائِمة لها، وتُسمَّى هذه الآليَّة بالسُّلُوك الخاصِّ بكلِّ قَفزةٍ،[131] ويُمكِن تمييز أَربعة أَنواعٍ مِن السُّلُوكات، كما يأتي:[132]

- سُلُوك الإرسال الافتراضِيّ: وهُو السُّلوك الَّذي يَختاره المُوجِّه لِلتَّعامُل مع رِزمة بياناتٍ لم يَتوافق مَعها أَيُّ بندٍ آخرَ مِن بُنود السُّلُوك. إنَّ دَعم هذا البَند إلزامِيٌّ في المُوجِّهات الَّتي تَدعم الخِدمات المُتمايزة، وتَكُون قِيمة حَقل ترامِيز الخِدمات المُتمايزة فيه $(0)_{10} = (00000)_2$.

[129] الخِدمات المُتمايزة Differentiated services، ولِوصفٍ عن هذه المِعماريَّة انظر [RFC2475] في ثَبت المَراجِع.

[130] أَصل الاسم Differentiated Services CodePoint، اختصاراً DSCP، انظر ص.7 في [RFC2474] في ثَبت المَراجِع.

[131] نِطاق الخِدمات المُتمايزة Differentiated services domain، والسُّلُوك الخاصُّ بكلِّ قَفزةٍ Per-Hop Behavior، اختصاراً PHB.

[132] وأَصول الأَسماء لكُلِّ سُلُوكٍ على التَّرتيب: الافتراضِيُّ Default Forwarding، اختصاراً DF، والمُعجَّل Expedited Forwarding، اختصاراً EF، والمُؤَمَّن Assured Forwarding، اختصاراً AF، واختيار الصَّنف Class Selector، اختصاراً CS، انظر ص. 9-10 في [RFC4594] في ثَبت المَراجِع.

- سُلُوك الإرسال المُعجَّل: وهُو السُّلُوك المُتوافِق مع تطبيقات الزَّمن الحقيقيِّ، نحو الصَّوت والفِيديو. ومِن خواصه: تَأخيرٌ مُنخفِضٌ وتَقلقُل إرسالٍ[133] مُنخفِضٌ وفَقد بياناتٍ مُنخفِضٌ، وتَكُون قِيمة حَقل الخِدمات المُتمايزة فيه $(101110)_2 = (46)_{10}$.[134]
- سُلُوك الإرسال المُؤَمَّن: يَسمح بتوصيل الرِّزم طالما لم تَتَجاوز حركة البيانات مُعدَّلاً مُحدَّداً، ومَتَى ما تَجاوزته، فإنَّ احتمال التَّخلُّص مِن الرِّزم يَزداد على سُلَّمٍ مُكوَّنٍ مِن ثلاث درجاتٍ: مُنخفِضةٌ ومُتوسِّطةٌ ومُرتفِعةٌ.[135] يُعرِّف هذا السُّلُوك، وَفقاً لما سَبق، أربعة أَصنافٍ مُتمايزةٍ لِمَنح إمكانيَّةٍ أكبرَ للتَّحكُّم، ويُظهِر الجدول (3-1) قِيمة حَقل الخِدمات المُتمايزة في كُلٍّ مِنها.
- سُلُوك اختيار الصَّنف: ويَسمَح بدعمٍ توافقيٍّ لِقِيم حَقل الأَحقيَّة الَّتي عرَّفها المِعيار الأَصيل، وتَكُون قِيمة حَقل ترامِيز الخِدمات فيه مِن الشَّكل: $(b_0b_1b_2000)_2$، وتَكُون b_0 وb_1 وb_2 هي بتات حَقل الأَحقيَّة على التَّرتيب.

الجدول (3-1): قِيم حَقل ترامِيز الخِدمات المُتمايزة المُمكِنة في سُلُوك الإرسال المُؤَمَّن

احتمال التَّخلُّص مِن الرِّزمة	الصَّنف 1	الصَّنف 2	الصَّنف 3	الصَّنف 4
مُنخفِضٌ	$(001010)_2 = (10)_{10}$	$(010010)_2 = (18)_{10}$	$(011010)_2 = (26)_{10}$	$(100010)_2 = (34)_{10}$
مُتوسِّطٌ	$(001100)_2 = (12)_{10}$	$(010100)_2 = (20)_{10}$	$(011100)_2 = (28)_{10}$	$(100100)_2 = (36)_{10}$
مُرتفِعٌ	$(001110)_2 = (14)_{10}$	$(010110)_2 = (22)_{10}$	$(011110)_2 = (30)_{10}$	$(100110)_2 = (38)_{10}$

أَمَّا البتان صاحِبا المَرتبتين 6 و7 في حَقل جُودة الخِدمة فيُشكِّلان حَقل التَّنبيه الصَّريح لِلازدحام، وقد وُصِف عملهما لِلمرَّة الأُولَى في عام 1999م في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 2481.[136] يُؤَمِّن هذان البتان آليَّةً لِلمُوجِّهات مِن أَجل إبلاغ الوِجهة النِّهائيَّة بوجُود ازدحامٍ في الشَّبكة، مِن خلال حَجز ترميزٍ مُحدَّدٍ لِذلك، هُو $(11)_2$. أَمَّا القِيم الثَّلاثة الأُخرَى فيَضبُطها مُرسِل البيانات كما يَلِي: $(00)_2$ لِلإشارة إلى عدم استعمال هذه الآليَّة، و$(01)_2$ و$(10)_2$ لِلإشارة إلى استعمالها.[137]

العنونة

هي مَنح مُضيفِي برُوتُوكُول الإنترِنت مُعرِّفاتٍ رَقميَّةٍ لِاستعمالها في الشَّبكة المَحلِّيَّة أَو في الإنترِنت. يُسمَّى المُعرِّف المَمنُوح عُنوان برُوتُوكُول الإنترِنت، وقد يُستخدَم لِتمييز مُضيفٍ ما تمييزاً فريداً، أَو لِتحديد مَجمُوعة المُضيفِين الَّذين يَستضيفونه العُنوان في الوقت نفسِه. بالإضافة لِذلك، لا مانِع مِن استضافة المُضيف لِأكثرَ مِن عنوان برُوتُوكُول إنترنِت في الوقت ذاتِه أيضاً.

133 أَصل الاسم Jitter.

134 لِلمزيد حول هذا السُّلُوك انظر [RFC3246] في ثَبت المَراجِع.

135 انظر [RFC2597] في ثَبت المَراجِع.

136 التَّنبيه الصَّريح لِلازدحام Explicit Congestion Notification، اختصاراً ECN، لِلمزيد انظر [RFC2481] في ثَبت المَراجِع.

137 انظر ص.7 [RFC3168] في ثَبت المَراجِع.

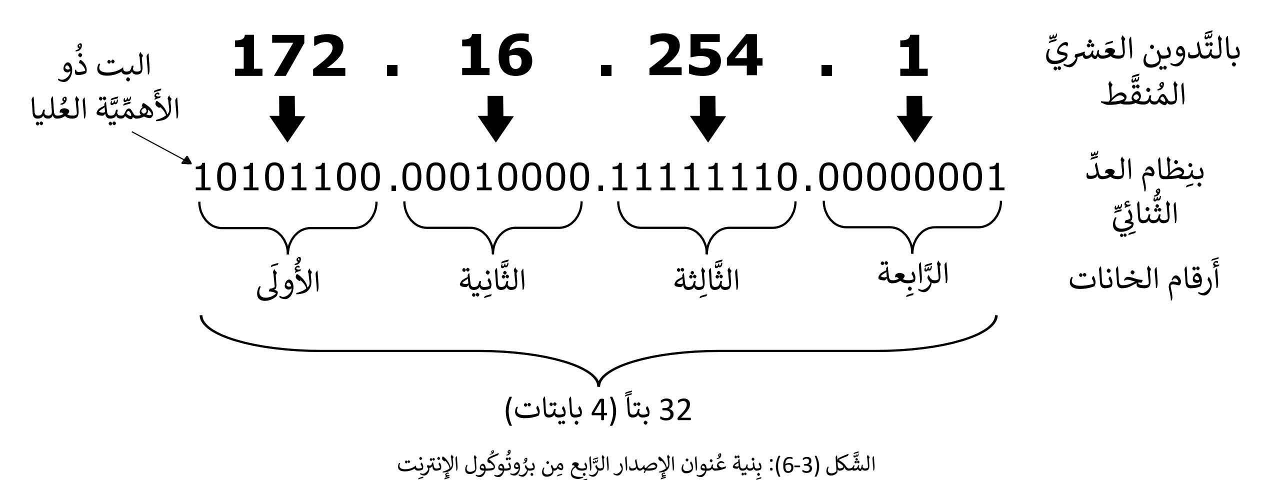
تعاريفُ

عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت

هُو مُعرِّفٌ رَقميٌّ طُوله 32 بتاً، غالباً ما يُكتَب بالتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط،[138] ولكنَّه قد يُكتَب بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ أَيضاً، يُقسَم كُلُّ عُنوانٍ إلى أَربعة أَقسامٍ تُسمَّى خاناتٍ، طُول كُلٍّ مِنها 8 بتاتٍ. تُرقَّم الخانات انطلاقاً مِن الواحِد وابتداءً مِن الخانة الَّتي تَضمُّ البتات ذات الأَهمِّيَّة العُليَا،[139] وهِي الَّتي تقع أَقصَى يسار العُنوان.

يُكتَب عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت وَفقاً لِلتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط بالشَّكل #.#.#.#، ويُمثِّل الرَّمز # قِيمةً عَدَديَّةً بنِظام العدِّ العَشريِّ. لِأَنَّ كُلَّ خانةٍ تَضمُّ أَعداداً مُوجبةً مُمثَّلةً بثمانية بتاتٍ فقط، فإنَّ القِيمة العَشريَّة في كُلِّ خانةٍ يُمكِن أَن تَتَراوح بين القِيمتين 0 و255 فقط.[140] إنَّ 8.0.0.1 و172.16.254.1 و240.0.0.9 هي أَمثلةٌ على عناوين إنترنِتٍ مَكتُوبةٍ بالتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط، ويُبيِّن الشَّكل (3-6) البِنية السَّابِقة مِن أَجل المِثال الثَّانِي.

يُمكِن أَن يُمثَّل العُنوان بنِظام العدِّ الثُّنائِي مِن خلال استبدال قيمة المُقابل الثُّنائِيِّ لِكُلِّ خانةٍ بالقِيمة العَشريَّة، ولكن يَلزَم اعتماد تمثيلٍ وَاحِدٍ فقط عند الكِتابة ولا يَجُوز خلط الشَّكلين معاً.



الشَّكل (3-6): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

فضاء العناوين

هُو مَجمُوعة عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت كُلِّها، وهِي تَضمُّ 2^{32} عُنواناً، أَي قُرابة 4.3 مِليار عُنوانٍ تقريباً. ويُقسَّم هذا الفضاء إلى ثلاثة أفضيةٍ جُزئيَّةٍ تِبعاً لِلغرض الَّذي يُستخدَم كُلُّ فضاءٍ مِن أَجله، وهذه الأَفضية هِي:

- فضاء عناوين البثِّ فريد الوِجهة، ويُستعمَل لِعنونة المُضيفِين عنونةً مُتمايزةً، وعُنوِن هذا الفضاء بطريقتين:[141]

---

[138] أَصل الاسم Dotted-decimal notation.

[139] أَصل الاسم Most Significant Bit، اختصاراً MSB.

[140] أَي بين $(0000\ 0000)_2$ و$(1111\ 1111)_2$.

[141] العَنونة الصَّنفيَّة Classful addressing والعَنونة غير الصَّنفيَّة Classless addressing، انظر الأُولى في ص. 7 في [RFC791] والأُخرَى في ص. 4 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

- صَنفيَّة[142]، وهِي الأَصل المَوصُوف فِي مِعيار البرُوتُوكُول، وقد أُبطِل هذا النَّمط لاحِقاً بسبب تسارع استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهذه المُشكِلة هِي مَبحَث الفصل السَّابِع مِن هذا الكِتاب. يُقسَم عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت فِي هذا النَّمط إلى ثلاثةِ أَقسامٍ:
  - البتات المَحجُوزة:[143] وهِي عَدَدٌ مِن البِتات الَّتِي تُستعمَل لتحديد وظيفة فضاء العنونة الَّذي يَنتمِي إليه العُنوان، تَبدَأ البتات المَحجُوزة مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّةً، وقد تَشمُل بتاً واحِداً أَو أَكثر حتَّى 4 بتاتٍ، ويَتحدَّد عَدَدها، ولِيكُن b_r بتاً، وَفقاً لِنمط العنونة المُستعمَل وستُناقَش هذه الأَنماط فِي قِسم فضاء العناوين فِي هذا الفصل.
  - مُعرِّف الفضاء:[144] وهُو القِسم المُميِّز لِلفضاء الَّذي يَنتمِي إليه العُنوان، ويَكُون مُشترَكاً بين عناوينه كُلِّها. يَبدَأ هذا المُعرِّف مِن حيث انتهَى قِسم البتات المَحجُوزة، ويَختلِف طُوله، ولِيَكُن b_{NID} بتاً، تَبعَاً لِعَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة النَّاتِجة عن تجزِئة الفضاء الكُلِّيّ N_{space}، ويَرتبِط الاثنان بالعَلاقة: $N_{space} = 2^{b_{NID}}$. فإذا كان طُول مُعرِّف الفضاء ثلاث بتات، فإِنَّ فضاء العناوين الكُلِّيّ سيُجزَّأ إلى $2^3 = 8$ أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ.
  - مُعرِّف المُضيف:[145] وهُو القِسم الَّذي يُميِّز مُضيف العُنوان، وتَكُون قِيمته فريدةً مِن أَجل كُلِّ عُنوان فِي الفضاء الجُزئِيِّ. يَبدَأ مُعرِّف المُضيف مِن حيث انتهَى مُعرِّف الفضاء ويَمتدُّ حتَّى نِهاية العُنوان. وأَمَّا طُول قِسم المُضيف، ولِيكُن b_{HID} بتاً، فيُحدِّد عَدَد العناوين فِي الفضاء الجُزئِيِّ $N_{address}$، تَبعَاً لِلعَلاقة $N_{address} = 2^{b_{HID}}$. فإذا كان طُول قِسم المُضيف 10 بتاتٍ، فإِنَّ كُلَّ فضاء عناوين جُزئِيٍّ سيَحتوِي $2^{10} = 1024$ عُنواناً.[146]

تَكُون أَطوال قِسمي الشَّبكة والمُضيف مُحدَّدةً تحديداً مُسبَقاً ومعياريَّاً، ويَكُون مَجمُوع أَطوالها مُساوِياً لِطُول عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت (الشَّكل (3-7))، أَي:

$$b_r + b_{NID} + b_{HID} = 32 \tag{1-3}$$

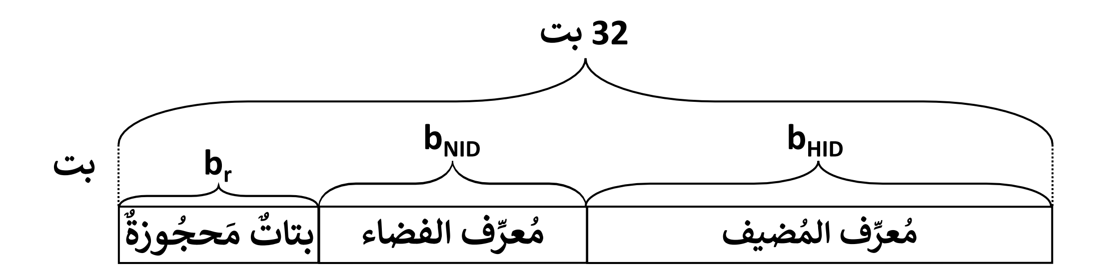
[142] انظر ما جاء فِي مادة class فِي ص.28 فِي [BKA06] فِي ثَبت المَراجِع.

[143] عُومِلت البتات المَحجُوزة فِي مِعيار البرُوتُوكُول الأَصيل على أَنَّها جُزءٌ مِن مُعرِّف الفضاء (انظر ص. 7 فِي [RFC791] فِي ثَبت المراجع)، لكنَّها كانت دائِماً ما تُستثنَى مِنه فِي الحسابات الرِّياضيَّة (انظر على سبيل المثال ما جاء فِي ص.2 فِي [RFC1878]) لذلك ارتَأينا فَصلها ومُعامَلتها على أَنَّها قِسمٌ مُنفصِلٌ.

[144] أَصل الاسم Network IDentifier، اختصاراً NID.

[145] أَصل الاسم Host IDentifier، اختصاراً HID.

[146] يَلزَم التَّمييز بين عَدَد العناوين فِي الفضاء، والَّذي يُحسَب باستخدام العَلاقة $2^{b_{HID}}$، وبين عَدَد العناوين المُتاحة لِلاستعمال عند عَنونة المُضيفِين، ويُحسَب بالعَلاقة $2^{b_{HID}} - 2$. وأَمَّا العُنوانان المَطرُوحان فِي العَلاقة الثَّانية فهُما عُنوان الفضاء وعُنوان البثِّ العامِّ وستُناقَش هذه المسأَلة فِي الفصل الرَّابِع مِن هذا الكِتاب.



الشَّكل (3-7): الأَقسام الرَّئِيسة المُكوِّنة لِعُنوانٍ مِن الإصدار الرَّابِع والعَلاقة الَّتي تَربُط بين أَطوالها

تَكُون الأَفضية الجُزئِيَّة النَّاتِجة مَعرُوفة الحجم، وتُصنَّف تَبعَاً له إِلى أَصنافٍ هي (الشَّكل (3-8)):

- الصَّنف A: يَكُون عَدَد البتات المَحجُوزة فيه بتاً واحِداً فقط، وقِيمته هي $(0)_2$ دائِماً. نتيجةً لذلك، تَكُون قِيمة الخانة الأُولَى فيه مَحصُورةً بين 0 و127. طُول قِسم مُعرِّف الفضاء فيه هُو 7 بتاتٍ، وطُول قِسم مُعرِّف المُضيف هُو 24 بتاً، لِذلك فهُو أَكبر الأَصناف حجماً: 2^{24} عُنواناً في كُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ، وأَقلُّها عَدَداً: 2^7 فضاءً جُزئِيّاً.
- الصَّنف B: ويَكُون عَدَد البتات المَحجُوزة فيه بتان اثنان، وقِيمتهما هي $(10)_2$ دائِماً، ونتيجةً لِذلك تَكُون قِيمة الخانة الأُولَى فيه مَحصُورةً بين 128 و191. طُول قِسم مُعرِّف الفضاء في هذا الصَّنف هُو 14 بتاً وطُول قِسم مُعرِّف المُضيف هُو 16 بتاً، ويَضمُّ كُلُّ فضاءٍ جُزئِيٍّ 2^{16} عُنواناً، بالإِضافة لِوجُود 2^{14} فضاءً جُزئِيّاً مِن هذا القِياس.
- الصَّنف C: ويَكُون عَدَد البتات المَحجُوزة ثلاثة بتاتٍ، وقِيمتها هي $(110)_2$ دائِماً، أَي تَنحصِر قِيمة الخانة الأُولَى فيه بين 192 و223. طُول قِسم مُعرِّف الفضاء في هذا الصَّنف هُو 8 بتاتٍ وطُول قِسم مُعرِّف المُضيف هُو 21 بتاً، ويَضمُّ كُلُّ فضاءٍ جُزئِيٍّ 2^8 عُنواناً، بالإِضافة لِوجُود 2^{21} فضاءً جُزئِيّاً مِن هذا القِياس.

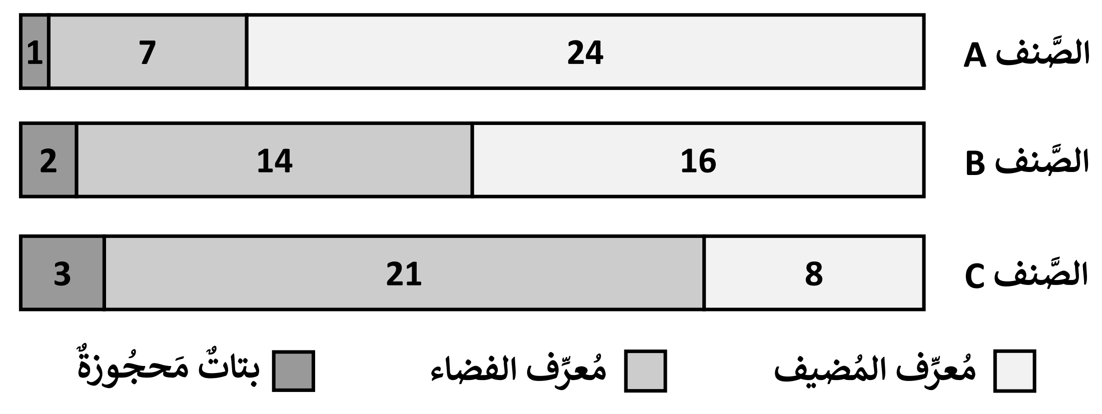
  - غير صِنفيَّةٍ، وهي نهجٌ مُستحدَثٌ لِمواجهة مُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترِنت، ولا أَصناف مُحدَّدة الأَطوال فيه، وتَكُون أَحجام الأَفضية غير ثابِتةٍ، لِذلك فإِنَّها تُوصَف أَيضاً بأَنَّها غير قِياسيَّةٍ.

- فضاء عناوين البثِّ المَجمُوعاتي ويُسمَّى أَيضاً بالصَّنف D، ويُستعمَل لِعنونة مَجمُوعةٍ مِن المُضيفين. بتاته المَحجُوزة أَربعةٌ، قِيمتها $(1110)_2$، وسيُدرَس في الفصل الخامِس مِن هذا الكِتاب.[147]
- فضاء عناوينٍ مَحجُوزٍ، ويُسمَّى أَيضاً بالصَّنف E، وعَدَد البتات المَحجُوزة فيه 4 بتات وقِيمتها $(1111)_2$.[148]

---

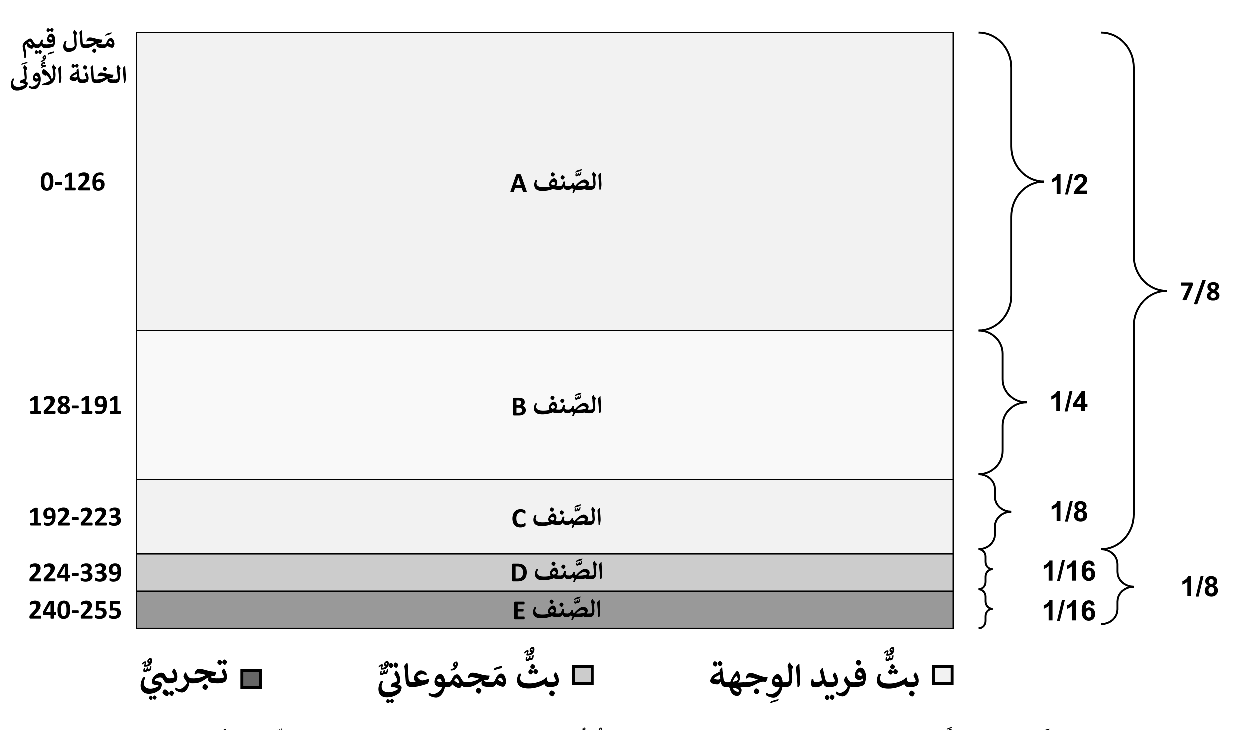
[147] انظر ما جاء في ص. 3 في [RFC1122] في ثَبت المَراجِع.

[148] انظر الهامِش السَّابِق.



الشَّكل (3-8): أصناف عناوين البثِّ فريد الوِجهة في الإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت وبِنية عناوينها

يُبيِّن الشَّكل (3-8) الأَحجام النِّسبيَّة لِلأفضية الجُزئيَّة الصَّنفيَّة قِياساً إلى الفضاء الإجماليِّ، يَشغَل فضاء الصَّنف A وَحده نِصف حَجم الفضاء الإجماليِّ، في حين يَشغَل الصَّنف B رِبعه والصَّنف C ثُمنَه، أَمَّا الثُّمن الأَخير فيُقسَّم مُناصَفةً بين الصَّنف D والصَّنف E.



الشَّكل (3-9): أفضية العناوين الجُزئيَّة لِلإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ويَظهَر إلى اليمين الحَجم النِّسبيِّ لِكُلِّ قِسمٍ

لا بُدَّ لِحجم الفضاء مِن أَن يَكُون مِن مُضاعفات العَدَد 2 دائِماً بسبب استعمال نِظام العدِّ الثُّنائِيِّ في العنونة، أَي أَنَّه يَنتمِي حصراً لِلمَجمُوعة {2، 4، 8، 16، ... 2^{32}}.[149]

[149] انظر ما جاء في ص.2 في [RFC1878] في ثَبت المَراجِع.

قِناع الفضاء

هُو عَدَدٌ طُوله 32 بتاً، يُكتَب وَفقاً لِقواعد كِتابة عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت نفسِها وله البِنية رباعيَّة الخانات ذاتُها. لكنَّ القِناع يَتميَّز بنمطٍ فريدٍ مِن تكرار الأَصفار والوِحدان فيه، فهُو يَضمُّ تتابعاً وَحيداً غير مُنقطِعٍ مِن الوِحدان يَليه تتابعٌ وَحيدٌ غير مُنقطِعٍ مِن الأَصفار.[150]

يُرفَق عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت بقِناعٍ دائِماً، ويُحدِّد القِناع البتات المَحجُوزة ومُعرِّف الفضاء، فهي تُقابِل بتاتٍ ذات قِيمةٍ واحِديَّةٍ في القِناع، أَمَّا بتات مُعرِّف المُضيف في العُنوان، فتُقابِلها بتاتٌ ذات قِيمة صِفريَّةٍ في القِناع.

على سبيل المثال، إذا كان مَجمُوع طُولي قِسمي البتات المَحجُوزة ومُعرِّف الفضاء لعناوين فضاءٍ ما 12 بتاً، فإنَّ القِناع المُوافِق لِلعُنوان يُكتَب بالتَّمثيل الثُّنائِيِّ بالشَّكل:

1111 1111.1111 0000.0000 0000.0000 0000

وهذا يُقابِل القِناع 255.240.0.0، أَو اختصاراً 12/. أَمَّا التَّمثيل الأَوَّل فهو التَّدوين العَشريُّ المُنقَّط، ويُمكِن الحُصُول عليه باستبدال المُقابِل العَشريِّ لكل خانةٍ بالقِيمة الثُّنائيَّة. وأَمَّا التَّمثيل الثَّانِي فهو تدوين البادِئة،[151] ويُمكِن الحُصُول عليه مِن خلال إحصاء عَدَد الوِحدان المُتتالِية في القِناع، وإضافتها إلى يمين الشَّريطة المائِلة "/". تُستعمَل كِلتا الطَّريقتان لِلتَّعبير عن قِناع الفضاء، ويُضاف النَّاتِج إلى يمين العُنوان دائِماً.

على سبيل المِثال: 10.0.0.0/12 و10.0.0.0 255.240.0.0 هُما تعبيران مُتطابِقان، ويَعنيان أَنَّ البتات الاثني عَشر الأَكثر أَهمِّيَّةً في العُنوان 10.0.0.0 تُشكِّل قِسمي البتات المَحجُوزة ومُعرِّف الفضاء. بعبارةٍ أُخرَى، عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت الَّتي تَبدَأ مِن البِت الأَكثر أَهمِّيَّةً بتتابع البتات: 0000 1010 0000 هي كُلُّها أَعضاءٌ في هذا الفضاء الجُزئِيِّ.

إنَّ القِيم العَشريَّة المُستعمَلة في كِتابة الخانات في أَقنعة الأَفضيَّة في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مَحدُودةٌ وعَدَدها تسعٌ فقط، والسَّبب في ذلك هُو شَرط الوِحدان المُتتالية غير المُنقطِعة، وهذه القِيم هي {0، 128، 192، 224، 240، 248، 252، 254، 255}، ويُمكِن الاطِّلاع على الجدول (3-2) لتبيان شَرط الوِحدان المُتتالية غير المُنقطِعة في الأَقنعة.

عُنوان الفضاء

هُو عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت الَّذي تَكُون قِيمة البتات في قِسم مُعرِّف المُضيف كُلِّها أَصفاراً فيه. لِهذا العُنوان القِيمة العَدَديَّة الصُّغرَى مِن بين عناوين الفضاء، ويُستعمَل مع قِناع الفضاء لِتمثيل فضاء العنونة الجُزئِيِّ كامِلاً، لِذلك لا يُستعمَل في عنونة المُضيفِين أَبداً.

[150] انظر ص. 13 في [BKA07] في ثَبت المَراجِع.

[151] تدوين البادِئة Prefix notation، انظر ص.5 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع

الجدول (3-2): القِيم الثُّنائِيَّة والعَشريَّة المُستعمَلة في كِتابة أقنعة الأفضية في خانةٍ وَاحِدةٍ

عَدَد الوِحدان	القِيمة الثُّنائِيَّة	القِيمة العَشريَّة	تدوين البادِئة
0	0000 0000	0	/0
1	1000 0000	128	/1
2	1100 0000	192	/2
3	1110 0000	224	/3
4	1111 0000	240	/4
5	1111 1000	248	/5
6	1111 1100	252	/6
7	1111 1110	254	/7
8	1111 1111	255	/8

يُحسَب عُنوان الفضاء رياضيّاً انطلاقاً مِن قِناع الفضاء وأحد عناوينه وَفقاً لِلخوارزميَّة (الجدول 3-3):[152]

1. كِتابة العُنوان والقِناع بالتَّمثيل الثُّنائِيِّ.
2. إجراء عمليَّة العَطف المَنطِقيِّ[153] بين العُنوان والقِناع، والنَّتيجة هي عُنوان الفضاء بالتَّمثيل الثُّنائِيِّ.
3. تمثيل قِيم الخانات بنِظام العدِّ العَشريِّ، والنَّتيجة هي عُنوان الفضاء مَكتُوباً بالتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط.

الجدول (3-3): مِثالٌ عن كيفيَّة حِساب عُنوان الفضاء لِلعُنوان 200.100.10.1 المُرفَق بالقِناع 255.240.0.0 باستعمال عمليَّة العَطف المنطِقيِّ

عُنوان العمُود	الخانة الرَّابِعة	الخانة الثَّالِثة	الخانة الثَّانِية	الخانة الأُولى
العُنوان بنِظام العدِّ العَشريِّ	**1**	**10**	**100**	**200**
القِناع بنِظام العدِّ العَشريِّ	**0**	**0**	**240**	**255**
العُنوان بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	**0000 0001**	**0000 1010**	**0110 0100**	**1100 1000**
القِناع بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	**0000 0000**	**0000 0000**	**1111 0000**	**1111 1111**
نِتاج عمليَّة العَطف المَنطِقيِّ بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	**0000 0000**	**0000 0000**	**0110 0000**	**1100 1000**
نِتاج عمليَّة العَطف المنطِقيِّ بنِظام العدِّ العَشريِّ	**0**	**0**	**96**	**200**

[152] انظر ص. 27-29 في [BKA07] في ثَبت المَراجِع.

[153] أصل الاسم Logical conjunction، انظر ص. 16 في [BKA05] في ثَبت المَراجِع، ويُسمَّى أيضاً الاتِّحاد (ص. 206 في [BKA02]) والاقتران (ص. 69 في [BKA01])، وهي عمليَّةٌ مَنطِقيَّةٌ تَتبَع جدول الحقيقة التَّالِي (انظر ما جاء في شَأنه في الفصل الرَّابِع من هذا الكِتاب):

المَدخَل الأوَّل	المَدخَل الثَّاني	الخَرج
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

يَلزَم الانتباه إلى عدم الخَلط بين عُنوان الفضاء ومُعرِّف الفضاء، فالأوَّل هُو عُنوان برُوتُوكُول إنترنِتٍ مُكتمِلٌ طُوله 32 بتاً، أمَّا الثَّانِي فهو جُزءٌ مِن عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت، ويُمثِّل القِسم المُشترَك بين العناوين الَّتي تَنتمِي إلى فضاءٍ جُزئِيٍّ ما.

عُنوان البثِّ العامِّ[154]

هُو عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت تَكُون قِيمة البتات كُلِّها في قِسم مُعرِّف المُضيف فيه وِحداناً. يَملِك هذا العُنوان أكبرَ قِيمةٍ عَدَديَّةٍ مِن بين عناوين الفضاء الجُزئِيِّ الَّذي يَنتمِي إليه، ويُستعمَل بصفته عُنواناً مُشترَكاً لكُلِّ مُضيفِي عناوين الفضاء، وأيُّ رِزمة بياناتٍ تُوجَّه إلى هذا العُنوان، ستُرسَل إلى المُضيفِين الَّذين يَستضيفون عناوينَ مِن ذلك الفضاء، لذلك لا يُستعمَل عُنوان البثِّ العامِّ في عنونة المُضيفِين أبداً.

تُتَّبَع الخوارزميَّة التَّالية لحِساب عُنوان البثِّ العامِّ في فضاءٍ ما، انطلاقاً مِن قِناع الفضاء وأحد العناوين فيه (الجدول 3-4):[155]

1. كِتابة العُنوان وقِناع الفضاء بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ.
2. تحديد طُول قِسم مُعرِّف المُضيف في العُنوان مِن خلال مُقارنته مع القِناع، تُقابِل بتاتُ مُعرِّف المُضيف بتات القِناع الصِّفريَّة.
3. ضبط قِيمة بتات مُعرِّف المُضيف إلى قِيمٍ وَاحديَّةٍ، والنَّتيجة هي عُنوان البثِّ العامِّ مَكتُوباً بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ.
4. تمثيل قِيم خانات العُنوان بنِظام العدِّ العَشريِّ، ثُمَّ كِتابة عُنوان البثِّ العامِّ بالتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط.

الجدول (3-4): مِثالٌ عن كيفيَّة حِساب عُنوان البثِّ العامِّ للشَّبكة 200.96.0.0 المُرفَقة بالقِناع 255.240.0.0 باستعمال عمليَّة العَطف المَنطِقيِّ

عُنوان العمُود	الخانة الرَّابِعة	الخانة الثَّالِثة	الخانة الثَّانِية	الخانة الأُولى
العُنوان بنِظام العدِّ العَشريِّ	0	0	96	200
القِناع بنِظام العدِّ العَشريِّ	0	0	240	255
العُنوان بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	0000 0000	0000 0000	0110 0000	1100 1000
القِناع بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	0000 0000	0000 0000	1111 0000	1111 1111
تحديد قِسم المُضيف في العُنوان (وُضِعت إشارة *x* في مُقابِل كُلِّ بتٍ)	XXXX XXXX	XXXX XXXX	0110 XXXX	1100 1000
ضبط بتات المُضيف إلى وِحدان (عُنوان البثُّ العامِّ بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ)	1111 1111	1111 1111	0110 1111	1100 1000
عُنوان البثِّ العامِّ (بالتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط)	255	255	111	200

---

[154] أصل الاسم Broadcast address. عُرِّبت Broadcast في ص. 46 في [BKA01] في ثَبت المَراجِع إلى إذاعةٍ أو نَشرٍ، مع تعريفٍ مُغايرٍ لِما وَرد هُنا، وفي ص. 163 في [BKA02] إلى بثٍّ إذاعيٍّ تلفزيونيٍّ، وفي ص. 9 من [BKA05] إلى بثٍّ شامِلٍ وهُو أقرب المَعاني لِهذا السِّياق في رَأينا.

[155] انظر ص. 27-29 في [BKA07] في ثَبت المِراجِع.

إدارة الأَفضية

تُشرِف هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصَة، على تحصيص[156] فضاء البثِّ فريد الوِجهة ضِمن بِنيةٍ هرميَّةٍ تُسمَّى سِجِلَّ الإنترنِت،[157] وستُناقَش هذه البِنية بالتَّفصيل في الفصلين السَّابِع والثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

تُشرِف هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة أَيضاً إشرافاً مُباشِراً على تحصِيص فضاء البثِّ المَجمُوعاتيِّ وعلى حِفظ بيانات الأَفضية المُحصَّصَة، لكنَّ عمليَّة التَّحصِيص تَحصُل مُباشَرةً مع العُملاء مِن غير الاعتماد على البِنية الهرميَّة، وانظر المُلحَق ب مِن هذا الكِتاب لِلمزيد حول هذه الأَفضية.[158]

بالإضافة لِذلك، تُحجَز أَفضية عناوينَ مِن أَجل برُوتُوكُولاتٍ مُحدَّدةٍ أَو مِن أَجل استعمالاتٍ خاصَّةٍ، ولا يَجُوز استعمال عناوينَ مِن هذه الأَفضية مِن أَجل عنونة المُضيفِين في الإنترنِت، وتُشرِف الهيئَة، المُشار إليها مُسبقاً، على حفظ وإدارة سِجلِّ هذه الأَفضية، وانظر المُلحَق ج مِن هذا الكِتاب ففيه ذكرٌ لِلأَنظمة المَحجُوزة ولِسَبب حجزها وتاريخه.[159]

التَّقطيع وإعادة التَّجميع

طُوِّرت الإنترنِت أَساساً لِتكُون شَبكةً مِن الشَّبكات المُختلِفة الَّتي قد تَدعَم أَطوالاً عُظمَى مُتنوِّعةً لرِزَم البيانات. وقد ظَهرت هذه المسأَلة ظُهُوراً إشكاليَّاً مُنذ بدايات الإنترنِت، فما السَّبيل لِنقل رِزَم البيانات بين شَبكتين تدعمان طُولَي نَقلٍ أَعظمَين مُختلِفين؟ وكان الحلُّ المُقترَح هُو التَّقطيع وإعادة التَّجميع. في الأَول، يُقطِّع المُوجِّه رِزم البيانات الَّتي لا يَستطِيع إرسالها إلى الشَّبكة التَّالِية على المَسار الواصِل بين مَصدَرها ووِجهتها، وتُسمَّى رِزم البيانات الأَصغر النَّاتِجة قِطعاً. أَمَّا في إعادة التَّجميع، فيُعاد إنشاء الرِّزمة الأَصل في الوِجهة النِّهائية انطلاقاً مِن القِطع المُستقبَلة.[160]

التَّقطيع

عندما يَستقبِل كِيان طَبقة الشَّبكة الَّذي يُشغِّل الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت رِزمة بياناتٍ مُوجَّهةً لِتُرسَل عبر أَحد المَنافِذ، فإنَّه يُحدِد قيمة وَحدة النَّقل العُظمَى في الشَّبكة المُرتبِطة مع ذلك المَنفَذ، ثُمّ يُقارِن طُول الرِّزمة مع قِيمة الوَحدة، فإذا كان طُول الرِّزمة أَكبرَ، فلا بُدَّ مِن تقطيعها إلى قِطعٍ أَقصرَ طُولاً تُشكِّل كُلٌّ مِنها حُمُولةً لِرزمة بياناتٍ مُستقلَّةٍ جديدةٍ. يَحصُل التَّقطيع في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في مَصدَر رِزمة البيانات وفي أَيِّ عُقدةٍ وسيطة تُعالِج الرِّزمة على مَسارها مِن مَصدَرها إلى وِجهتها، كما يُمكِن تقطيع قِطع البيانات أَكثرَ مِن مرَّةٍ لِتَنتُجَ قِطعٌ أَقصرُ فيما لو دَعت الحاجة إلى ذلك.

[156] التَّحصِيص Allocation والتَّخصِيص Assignment، انظر ص. 48 للأُولى وص. 83 للثَّانِية في [BKA02] في ثَبت المَراجِع. والحِصَّة هي النَّصيب، وأَحصَّه أَي أَعطاه نصيبه (انظر مادة ح ص ص في ص. 59 في [BKA08])، أَمَّا خصَّه بالشَّيء خَصَّاً فتَعني أَفرده بِه دُون غَيره (انظر ص. 1173 في [BKA04]).

[157] أَصل الاسم Internet Registry، انظر ص. 3 في [RFC7020] في ثَبت المَراجِع.

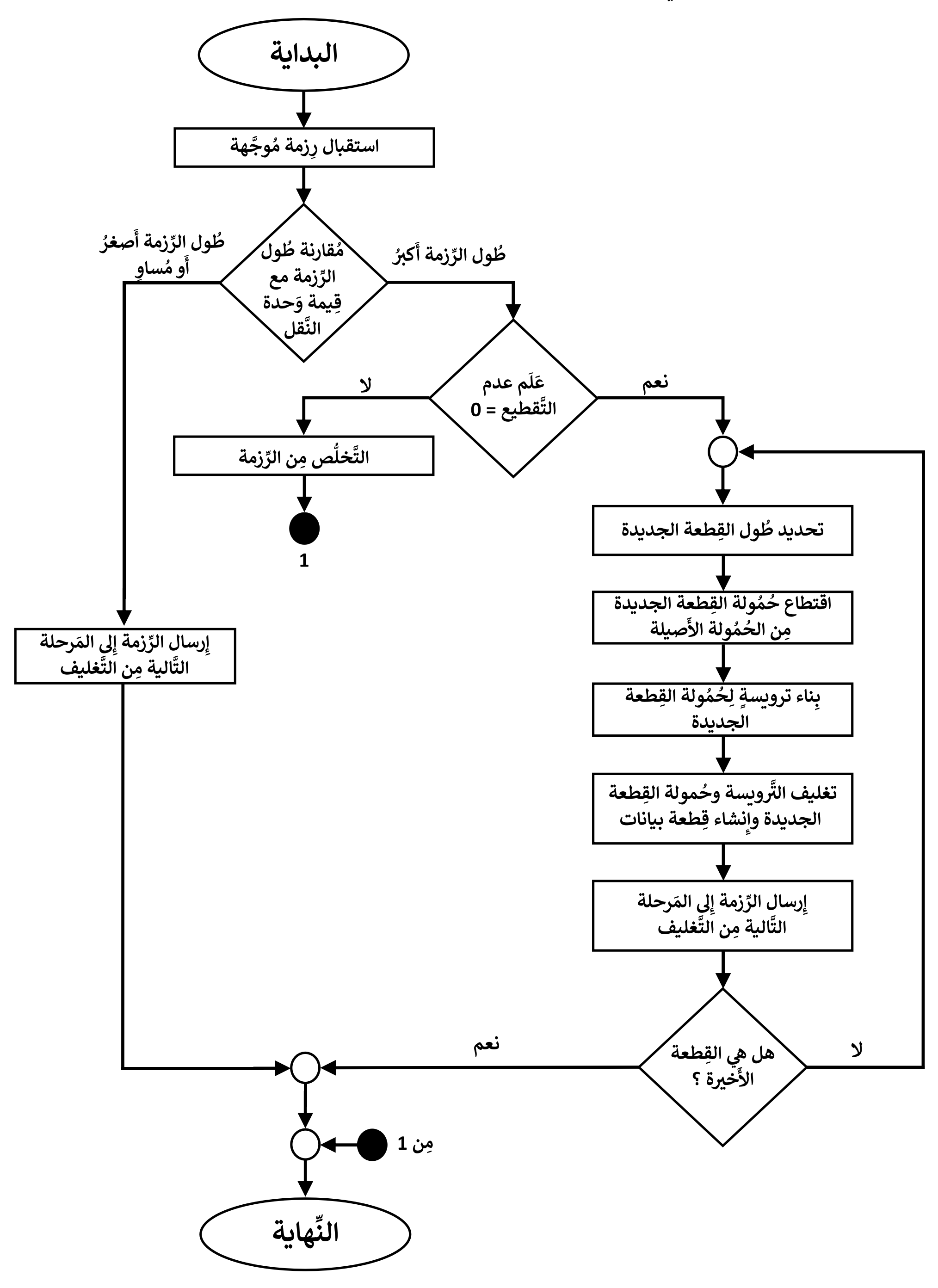
[158] انظر [WEB03] في ثَبت المَراجِع.

[159] انظر [WEB04] في ثَبت المَراجِع.

[160] انظر ما جاء في هذا الخُصوص في [WEB04] في ثَبت المَراجِع.

وُصِفت خوارزميَّة التَّقطيع في مُحدِدات الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت،[161] وهي تَتَبع المَراحِل التَّالِية (الشَّكل (3-10)):

1. تحديد طُول الرِّزمة ومُقارنته مع قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالشَّبكة الَّتي ستُوجَّه الرِّزمة إِليها:
   أ. **إِذا** كان طُول الرِّزمة أَكبرَ، فتقطيع الرِّزمة لازمٌ، **وإِلَّا،**
   ب. تُرسَل الرِّزمة، كما هي، إِلى المرحلة التَّالِية مِن التَّغليف. **انتهت الخوارزميَّة.**



الشَّكل (3-10): خوارزميَّة تقطيع رِزم البيانات في الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت

[161] انظر ما جاء في ص. 26 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

2. **إذا** كان عَلَم عدم التَّقطيع في الرِّزمة مَرفُوعاً[162]، يَتخلَّص المُوجِّه مِن الرِّزمة. **انتهت الخوارزميَّة. وإلَّا،**
3. يُحدَّد طُول حُمُولة القِطعة وَفقاً لِقِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى وطول ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت.
4. يُقتَطَع جُزءٌ مِن حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة لِيَكُون حُمُولة القِطعة.
5. تُبنَى ترويسة القِطعة، ويَشمَل ذلك:
   أ. حِساب طُول ترويسة القِطعة وإضافته إلى الحَقل المُخصَّص.
   ب. حِساب طُول القِطعة الإجماليّ وإضافته إلى الحَقل المُخصَّص.
   ت. تحديد زمن حياة القِطعة، وإضافته إلى الحَقل المُخصَّص.
   ث. ضبط قِيمة مُعرِّف القِطعة إلى قِيمة مُعرِّف الرِّزمة الأَصيلة.
   ج. تحديد قِيمة الإزاحة، وإضافته إلى الحَقل المُخصَّص.
   ح. تحديد قِيمة العَلَمين: عدم التَّقطيع والمزيد مِن القِطع، وإضافتهما إلى الحَقل المُخصَّص.
   خ. حِساب قِيمة حَقل التَّحقُّق الجمعيّ وإضافته إلى الحَقل المُخصَّص.
6. توليد الرِّزمة الجديدة مِن خلال تغلِيف حُمُولة قِطعة البيانات بالتَّروِيسة.
7. إرسال الرِّزمة إلى المرحلة التَّالِية مِن التَّغلِيف.
8. تحديد فيما لو كانت الرِّزمة السَّابِقة هي الرِّزمة الأَخيرة مِن خلال فَحص قِيمة عَلَم المزيد مِن القِطع.
9. **إذا** كانت الرِّزمة النَّاتِجة هي الرِّزمة الأَخيرة، **انتهت الخوارزميَّة. وإلَّا،**
10. يُعاد تنفيذ الخوارزميَّة بدءاً مِن الخَطوة الثَّالِثة، مع اعتبار طُول حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة هُو الطُّول المُتبقِّي بعد عمليَّة الاقتطاع في الخَطوة الرَّابِعة.

إعادة التَّجميع

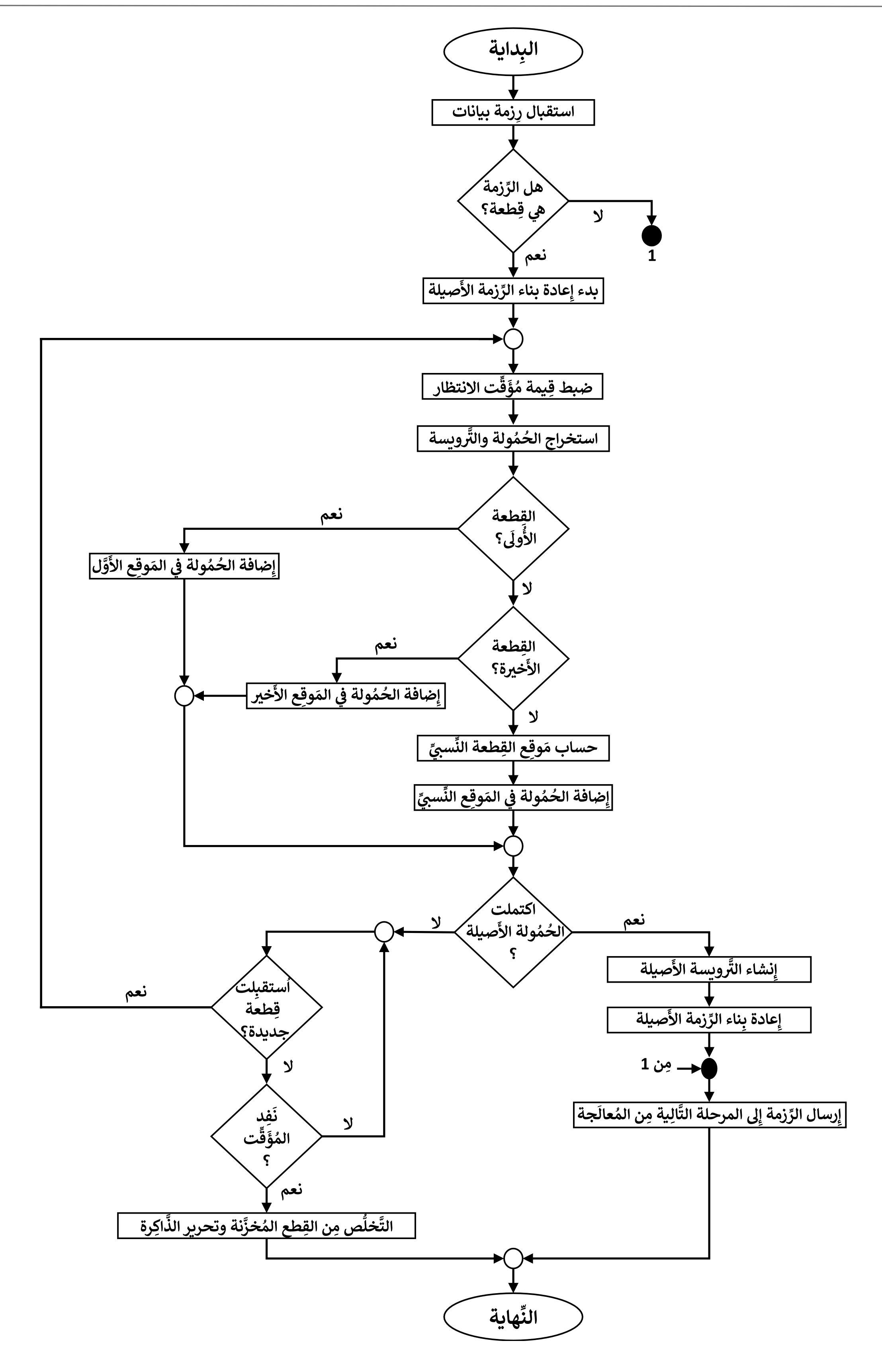
هي عمليَّة إعادة إنشاءٍ لرزمة البيانات الأَصيلة انطلاقاً مِن مَجمُوعة القِطع النَّاتِجة عن عمليَّة التَّقطيع. لا يُعاد التَّجميع في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت إلَّا في الوِجهة النِّهائِيَّة لِلرِّزمة، لِأَنَّ القِطع المُختلِفة النَّاتِجة عن التَّقطيع قد تَسلُك مَساراتٍ مُختلِفةً بعد توجيهها، وهذه المَسارات قد لا تَلتقي إلا في الوجهة النِّهائِيَّة.

وُصِفت خوارزميَّة إعادة التَّجميع في مُحدِّدات البرُوتُوكُول، وهي تَتبَع المَراحِل التَّالِية (الشَّكل (3-11)):[163]

1. استقبال رِزمة البيانات، وتحديد فيما إذا كانت قِطعةً مِن رِزمةٍ أَكبرَ أَو لا.
2. **إذا** لم تَكُن جُزءاً مِن رِزمةٍ أَكبرَ، فإنَّ الرِّزمة المُستقبَلة تُرسَل إلى المَرحلة التَّالِية مِن المُعالجة. **انتهت الخوارزميَّة. وإلَّا**
3. **إذا** كانت جُزءاً مِن رِزمةٍ أَكبرَ، تَبدَأ عمليَّة إعادة تجميع الرِّزمة وضبط قِيمة مُؤَقِّت الانتظار:

[162] أي مَضبُوطاً إلى القيمة 1.

[163] انظر ما جاء في ص. 28 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع. تُوجَد خوارزميَّة تجميعٍ أُخرى، نُوقِشت وشُرِحت في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 815، انظرها في ص. 2-3 في [RFC815].



الشَّكل (3-11): خوارزميَّة إِعادة تجميع رِزم البيانات في الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت

أ. تحديد الحُمُولة والتَّرويسة في الرِّزمة المُستقبَلة.

ب. تحديد مَوقِع القِطعة النِّسبيُّ في الرِّزمة الأَصيلة.

I. **إذا** كانت القِطعة الأُولَى، تُضاف في المَوقِع الأَوَّل. **وإلَّا،**

II. **إذا** كانت القِطعةِ الأَخيرة، تُضاف في المَوقِع الأَخير. **وإلَّا،**

III. يُحسَب المَوقِع النِّسبيُّ لِلقِطعة ثُمَّ تُضاف إليه.

4. تحديد فيما إذا كانت عمليَّة إعادة تجميع حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة قد انتهت.

أ. **إذا** كانت العمليَّة قد انتهت، تُنشَأ ترويسة الرِّزمة الأَصيلة، ثُمَّ يُعاد تجميع الرِّزمة الأَصيلة، وتُرسَل إلى المرحلة التَّالِية مِن المُعالَجة. انتهت الخوارزميَّة. **وإلَّا،**

ب. **إذا** لم تَكُن العمليَّة قد انتهت، يَلزَم التَّحقُّق مِن وُرُود رِزمة بياناتٍ جديدةٍ تَحتوِي قِيمة المُعرِّف نفسِه.

I. **إذا** وَرَدت، الانتقال إلى الخَطوة (2). **وإلَّا،**

II. **إذا** لم تَرِد، الانتظار لِحين نفاد المُؤَقِّت، مع التَّحقُّق دَورِيَّاً مِن وُرُود رِزمة بياناتٍ خلال فترة الانتظار، فإن وَرَدت، تُنفَّذ الخَطوة السَّابِقة.

III. **إذا** نَفِد المُؤَقِّت، التَّخلُّص مِن القِطع المُخزَّنة وتحرير الذَّاكِرة. **انتهت الخوارزميَّة. وإلَّا،**

IV. يُعاد تنفيذ الخَطوة (4.ب).

التَّنضيد

يُنجِز الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت هذه الوظيفة بالاعتماد على حَقل البرُوتُوكُول في ترويسته. ويَضمُّ هذا الحَقل قِيمةً تُحدِّد البرُوتُوكُول التَّالِي الَّذي ستُسلَّم الرِّزمة إلى كِيانه في أثناء عمليَّة التَّغلِيف، وقد يَكُون:

- برُوتُوكُول طَبقة شَبكةٍ آخرَ يُؤدِّي وظيفةً مُغايرةً لِلتَّشبيك، نحو برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في شَبكة الإنترنِت، أو برُوتُوكُول التَّوجيه الدَّاخِلِي المُحسَّن بين البوَّابات.[164]
- برُوتُوكُول طَبقة نقلٍ، نحو برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل أو برُوتُوكُول رِزم بيانات المُستخدِم.

تُحدِّد هيئَة أرقام الإنترنِت المُخصَّصَة قِيم التَّراميز المُستعمَلة في هذا الحَقل والبرُوتُوكُولات المُقابِلة لها تحديداً مِعياريَّاً، وبما أنَّ طُول الحَقل هُو 8 بتاتٍ فإنَّ هُناك $2^8 = 256$ قِيمةً مُتاحةً فقط لا غير.[165]

التَّوجيه تَبعَاً لِلمَصدَر

يُؤَمِّن الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت هذه الوِظيفة باستعمال حُقُول الخِيارات في ترويسته (انظر المُلحَق أ).

في ما يَخصُّ التَّوجيه تَبعَاً لِلمَصدَر، يُوجَد خِياران:[166]

---

[164] برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت Internet Control Message Protocol، اختصاراً ICMP، هو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ سيُدرَس بالتَّفصيل في الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب. أمَّا برُوتُوكُول التَّوجيه الدَّاخِلِي المُحسَّن بين البوَّابات Enhanced Interior Gateway Routing Protocol، اختصاراً EIGRP، فهُو برُوتُوكُول توجيهٍ يَعمَل في طَبقة الشَّبكة انظر [RFC7868] في ثَبت المَراجِع.

[165] انظر صفحة أَرقام البرُوتُوكُول في موقع هيئة أَرقام الإنترنت المُخصَّصَة في [WEB05] في ثَبت المَراجِع.

[166] انظر ص. 18-19 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

- خِيار التَّوجيه غير المُقيِّد بمَسار المَصدَر، وهُو الخِيار ذو النُّوع 131، وفيه يُلزِم مَصدَر الرِّزمة المُوجِّهات الَّتي تُعالِجها بإرسالها عبر مَسارٍ مُحدَّدٍ لا يُمكِن تبديله، فإن تَعذَّر إرسال رِزمة البيانات عبره، وَجَب التَّخلُّص مِن الرِّزمة.
- خِيار التَّوجيه المُقيِّد بمَسار المَصدَر، وهُو الخِيار ذو النُّوع 137، وفيه يَقترِح مَصدَر الرِّزمة على المُوجِّهات الَّتي تُعالِجها مَساراً غير مُلزِمٍ لِنقلها مِن مَصدَرها إلى وِجهتها.

المُشكِلات

هذا القِسم مُخصَّصٌ لِعَرض المُشكِلات الَّتي وَاجَهت تنفيذ الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في شَبكات البيانات، وقد رَكَّزنا عَمداً على طَرح المُشكِلات المُرتبِطة بوظيفَتين فقط هُما العنونة والتَّقطيع، وأَهملنا مُناقشة المُشكِلات المُتعلِّقة بسائِر الوظِائف وأَهمُّها جُودة الخِدمة، لِأَنَّه مَبحَثٌ مُعقَّدٌ لا يُمكِن اختزاله أَو توضيح سِياق المُشكِلات الَّتي يُواجِهها بصفحاتٍ قلائِلَ يَفرُضها ضِيق مَساحة الفصل.

مُرتبِطةٌ بالعنونة

استنفاد فضاء العناوين

استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[167] هُو نُضُوب العناوين الحُرَّة مِن فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت بعد تحصيصها وتخصيصها لِمُزوِّدات خِدمةٍ ولِمُضيفِين في الإنترنِت. لُوحِظت هذه المُشكِلة في مَطلع التِّسعينيَّات مِن القَرن العِشرين مع توسّع الإنترنِت، وابتدَأ العمل على حلِّها مُنذ ذلك الوقت.[168]

عُولِجت مُشكِلة استنفاد العناوين عبر إستراتيجيَّتين، الأُولى قَصِيرة الأَمد، هَدَفت إلى خَفض سُرعة الاستنفاد وتعمير الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت إلى أَقصَى ما يُمكِن، والثَّانِية طَويلة الأَمد، هَدَفت إلى إِيجاد بديلٍ لِلإصدار الرَّابِع ذي فضاء العناوين المَحدُود (قُرابة 4.3 مِليار عُنوانٍ فقط) يَتمثَّل ببرُوتُوكُول تشبيكٍ يَدعم فضاء عنونةٍ أَكبرَ.

مع تنفيذ الإستراتيجيَّتين معاً، طُوِّرت مَجمُوعةٌ مِن الحُلُول الإسعافيَّة نتيجةً لِلإستراتيجيَّة قَصِيرة الأَمد، شَمُلت اعتماد نمط عنونةٍ جديداً غير صِنفيٍّ لِيَكُون جُزءاً مِن آليَّة تَوجيهٍ سُمِّيت التَّوجيه غير الصِّنفيِّ بين النِّطاقات[169]، وستُدرَس بالتَّفصيل في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب، وتقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة[170]، وقد خُصِص الفصل التَّاسِع لِمُناقشتها. أَمَّا الإستراتيجيَّة طَويلة الأَمد، فقد نَجَم عنها تطوير الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِيكُون حلّاً نِهائِيَّاً وبديلاً عن الإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول، والإصدار السَّادِس ومُلحَقاته مَوضُوع الباب الرَّابِع مِن هذا الكِتاب.

---

[167] أَصل الاسم IPv4 address exhaustion.

[168] انظر ص. 2 في [RFC1338] في ثَبت المَراجِع.

[169] أَصل الاسم Classless Inter-Domain Routing، اختصاراً CIDR.

[170] أَصل الاسم Network Address Translation، اختصاراً NAT.

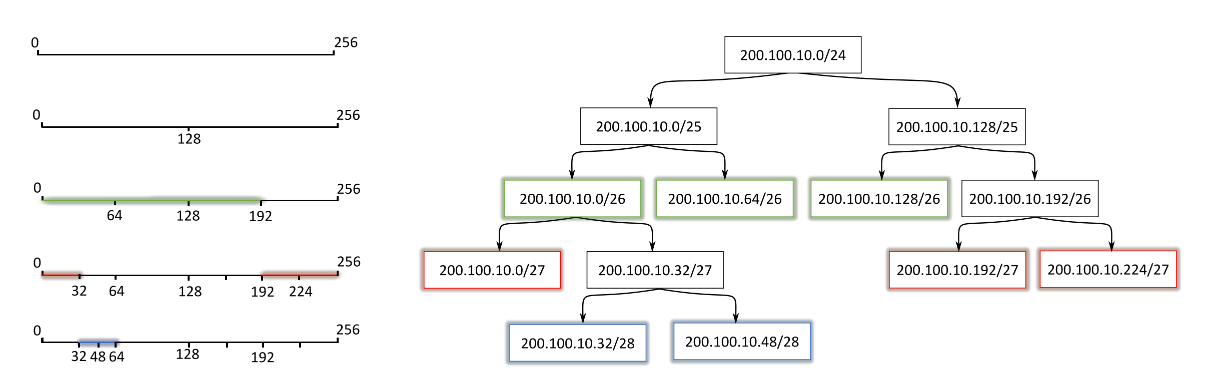
سَاعَدت الإستراتيجيَّة قَصِيرة الأَمد على تعمير الإصدار الرَّابِع مِن بروتوكول الإنترنِت لِأَكثر مِن رُبع قَرنٍ بعد أَن كانت المُدَّة المُتوقَّعة هي 3-5 سَنواتٍ فقط،[171] ولكنَّ استنفاد فضاء العناوين استمرَّ، وإن بوتيرةٍ أَبطَأ، حتَّى شهر فِبرَاير مِن العام 2011م حين أَصدرت شركة الإنترنِت لِلأَرقام والأَسماء المُخصَّصة[172]، بَياناً صِحفيّاً أَفادت فيه ببدء استهلاك العناوين مِن الفضاء الأَخير غير المُخصَّص المُحدَّد ببادِئةٍ مِن القِياس 8/.[173]

تراكُب أَفضية العناوين[174]

تَتَراكَب أَفضية عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت عندما تُوجَد مَجمُوعةٌ مُشترَكةٌ مِن العناوين بين فضاءَين أَو أَكثرَ. يَحصُل ذلك بسبب استخدامٍ غير صحيحٍ لِأَقنعة الأَفضية الجُزئِيَّة مُختلِفة الطُّول.[175] نتيجةً لذلك، يُمكِن أَن يَحصُل مُضيفان على العُنوان نفسِه، ولكن يَكُون لِكُلٍّ عُنوانٍ قِناعٌ مُختلِفٌ، ويُؤَدِّي ذلك إِلى حُصُول مُشكِلةٍ في توجيه رِزم البيانات، لِذلك يَلزَم أَلَّا تَتَراكَب أَفضية العناوين عند إنجاز عمليَّة العنونة.

على سبيل المِثال، يُبيِّن الشَّكل (3-12) احتمالاتٍ مُتعدِّدةً لِأَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ مِن الفضاء 200.100.10.0/24. لا يَحصُل تراكُبٌ لو اُستعمِلَت الأَفضية التَّالِية معاً:

- 200.100.10.0/26 و200.100.10.64/26 و200.100.10.128/26 وكُلُّها مُحاطةٌ بإِطارٍ أَخضرَ.
- 200.100.10.0/27 و200.100.10.192/27 و200.100.10.224/27 وكُلُّها مُحاطةٌ بإِطارٍ أَحمرَ.
- 200.100.10.32/28 و200.100.10.48/28 وهُما مُحاطان بإِطارٍ أَزرقَ.
- 200.100.10.128/26 (أَخضر) و200.100.10.0/27 (أَحمر).
- 200.100.10.64/26 (أَخضر) و200.100.10.192/27 (أَحمر) و200.100.10.48/28 (أَزرق).



الشَّكل (3-12): مِثالٌ عن تراكُب أَفضيَّةٍ جُزئِيَّةٍ مِن عناوين مِن الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

[171] لِذلك يُوصَف هذا الحلُّ بأَنَّه مُتوسِّط الأَمد، انظر ص. 5 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

[172] أَصل الاسم Internet Corporation for Assigned Names and Numbers، اختصاراً ICANN، وتُقرأ آيكان، هي مُنظَّمةٌ أَمريكيَّةٌ غير رِبحيَّةٍ، تَأَسَّست في عام 1998م، تُتابِع وتُنسِّق الإجراءات المُرتبِطة بقواعد البيانات الخاصَّة بأَفضية الإنترنِت الاسميَّة، نحو نِظام تسمية النِّطاقات، والرَّقميَّة، نحو أَفضية عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت بهدف التَّحقُّق مِن عمل الشَّبكة عملاً آمِناً ومُستقِلّاً.

[173] انظر البَيان في [WEB06] في ثَبت المَراجِع.

[174] أَصل الاسم Address spaces overlap.

[175] أَصل الاسم Variable Length Subnet Mask، اختصاراً VLSM، ستُناقَش هذه الآليَّة بالتَّفصيل في الفصل الرَّابِع مِن هذا الكِتاب.

يَحصُل التَّراكُب لو اُستعمِلَت الأَفضية التَّالية معاً:

- 200.100.10.0/26 (أَخضر) و200.100.10.0/27 (أَحمر).
- 200.100.10.0/26 (أَخضر) و200.100.10.48/28 (أَزرق).

يُمكِن التَّغلُّب على هذه المُشكِلة بتصميم الشَّبكة تصميماً دقيقاً، أَي بإِنجاز العنونة عند استخدام أَقنعةٍ مُختلِفة الطُّول مِن غير حُصُول تراكُبٍ بين الأَفضية الجُزئيَّة مِن خِلال تحديد مُعرِّفات كُلّ فضاءٍ جُزئِيٍّ ومَجال العناوين الَّذي يَمتدُّ عليه، وتلافِي وُجود فَضاء عنونةٍ مُشترَكٍ بين أَيِّ فضاءَين مُستخدَمين في العنونة.

مُرتبِطةٌ بالتَّقطيع

استغلَّ المُهاجِمون إلزاميَّة دَعم التَّقطيع وإعادة التَّجميع في مُضيفِي الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِشنِّ هَجماتٍ مُتنوِّعةٍ على شَبكات البيانات، مِنها ما يَأتي:

- هُجوم القِطعة الصَّغيرة:[176] وهُو هُجُومٌ يَحصُل عِند إرسال رِزم بياناتٍ خَبيثةٍ قصيرة الطُّول لِتَمُرَّ عبر جِدار الحماية بوصفها قِطعةً ناتِجةً عن التَّقطيع. يَعتمِد هذا الهُجُوم على فِكرة أَنَّ رِزمة البيانات القُصرَى[177] الَّتي يُمكِن لِأَيِّ وَحدةٍ تَدعَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت التَّعامُل معها ذات طُولٍ يبلغ 68 بايتاً، وفيها تَكُون ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت بالطُّولِ الأَعظمَ الأَقصَى المَسمُوح لها، وهُو 60 بايتاً، في حين تَكُون الحُمُولة بطُول 8 بايتاتٍ فقط. لا يَكفِي هذا الطُّول لِإدراج ترويسة برُوتُوكُول النَّقل ضِمن الرِّزمة، وهِي تَجتاز بذلك جدار الحماية مِن غير أَن يَتحقَّق مِنها، لِأَنَّه يَتفحَّص عادةً أَرقام المَنافِذ في ترويسة برُوتُوكُول النَّقل.
- هُجُوم القِطع المُتراكِبة:[178] وهُو هُجُومٌ يَعتمِد على وجود ثَغرةٍ في خوارزميَّة إعادة التَّجميع، وهِي إمكانيَّة تراكُب أَيِّ قِطعة تَرِد لاحِقاً مع قِطعةٍ أُخرى سابِقة لِتحُلَّ مَحلَّها جُزئيّاً أَو كليّاً. ويَعنِي ذلك أَنَّ بالإمكان تمرير القِطعة الأُولَى، الَّتي تَحتوِي ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت، مِن إجراءات الأَمن في الوِجهة تمريراً شرعيّاً، ثُمَّ التَّلاعُب بقِيمتها عن طريق التَّراكُب مع قِطعةٍ تالِيةٍ تَرِد لاحِقاً.
- مُشكِلاتٌ مُرتبِطةٌ ببرُوتُوكُول اقتران العناوين:[179] تَرتبِط هذه المُشكِلات بطريقة تنفيذ برُوتُوكُول اقتران العناوين، فعند مُعالَجة رِزم المَصدَر، وبعد تقطيعها، هل تُرسَل رسائِل برُوتُوكُول الاقتران مِن أَجل كُلِّ قِطعةٍ أَم يَكفِي إرسالها مرَّةً واحِدةً مِن أَجل الرِّزمة الأَصيلة فقط؟ وإِذا أُرسلت رسائِل البرُوتُوكُول لِكُلِّ قطعةٍ، فإِنَّ إعادة تجميع الرِّزمة في الوِجهة النِّهائية تَتوقَّف على نجاح رسائِل برُوتُوكُول الاقتران كُلِّها في عملها، ولو فُقِدت إحدَى الرَّسائِل لِأَسبابٍ تَتعلَّق بحالة الشَّبكة مثلاً، فإِنَّ القِطعة المُرتبِطة بالرِّسالة المَفقُودة لن تُرسَل مِن المَصدَر، وتَكُون إعادة تجميع

[176] أَصل الاسم Tiny fragment attack، انظر هذه المُشكلة وحُلُولها في [RFC3128] في ثَبت المَراجِع.

[177] قُصرَى هي مُؤَنث أَقصر، انظر ص. 3644 في [BKA04] في ثَبت المَراجِع.

[178] أَصل الاسم Overlapping fragment attack، انظر ص. 46-52 في تقرير مَركَز مَعلُومات الدِّفاع التَّقنيَّة في [ART20] في ثَبت المَراجِع.

[179] أَصل الاسم Address Resolution Protocol، اختصاراً ARP، انظر ما جاء في فقرة برُوتُوكُولات اقتران العناوين في القِسم التَّالِي.

الرِّزمة الأَصيلة في الوِجهة غير مُمكِنةٍ عندها لِوجُود قِطعةٍ مَفقُودةٍ، وسيَجري التَّخلُّص مِن القِطع المُستقبلَة بعد نفاد مُؤَقِّت الانتظار.[180]

برُوتُوكُولاتٌ مُساعِدةٌ

هي مَجمُوعةٌ مِن البرُوتُوكُولات الَّتي تَعتمِد عليها برُوتُوكُولات أُخرَى في أَداء وظائِفها، ويَعرِض هذا القِسم، باختصار، البرُوتُوكُولات المُساعِدة للإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت وهي برُوتُوكُولات اقتران العناوين وبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت وبرُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت وحِزمة أَمن برُوتُوكُول الإنترنِت.

برُوتُوكُولات اقتران العناوين

في نَمُوذَج الرَّبط البينيّ للأَنظمة المَفتُوحة، برُوتُوكُولات اقتران العناوين هي عائِلةٌ مِن البرُوتُوكُولات تَهتمُّ بتحديد أَزواج العناوين المُقترِنة لِبرُوتُوكُول التَّشبيك العامِل في طَبقة الشَّبكة وبرُوتُوكُول الوَصلة النَّاشِط في طَبقة الوَصلة، وهي تَضمُّ عَدَداً مِن البرُوتُوكُولات مِنها:

- برُوتُوكُول اقتران العناوين: يُستعمَل لِاكتشاف عُنوان برُوتُوكُول الوَصلة المُرتَبط مع عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت في مُضيفٍ بعيدٍ، وهذه المُطابَقة هي وَظيفةٌ جَوهريَّةٌ في عمل حِزمة برُوتُوكُولات الإنترنِت. طُوِّر البرُوتُوكُول في عام 1982م ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 826.[181]
- برُوتُوكُول ترجمة العناوين المَعكُوسة:[182] هُو برُتُوكُول اقتران عناوينَ يُستعمَل لِاكتشاف عُنوان برُوتُوكُول التَّشبيك المُرتبِط مع عُنوان برُوتُوكُول الوَصلة في مُضيفٍ بعيدٍ، أَي أَن عمله مُعاكِسٌ لِعمل برُوتُوكُول اقتران العناوين سالِف الذِّكر. طُوِّر البرُوتُوكُول في عام 1992م، ووُصِف في الوثيقة RFC 1293.[183]
- برُوتُوكُول اقتران العناوين العكسيّ: هُو برُوتُوكُول اقتران عناوينَ يُستعمَل لِاكتشاف عُنوان برُوتُوكُول التَّشبيك المُرتبِط مع عُنوان برُوتُوكُول الوَصلة في المُضيف الَّذي يُشغِّله، أَي أَنَّ عَمله مُطابِقٌ لِعمل برُوتُوكُول اقتران العناوين المَعكُوس ولكنَّه يَعمَل في المُضيف نفسِه لا عبرَ الشَّبكة، طُوِّر البرُوتُوكُول في عام 1984م، ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 903.[184]

برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت

هُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ وجُزءٌ مُدمَجٌ مِن الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، يُستعمَل مِن قِبَل مُضيفِي الإصدار الرَّابِع لِيُؤَمِّن آليَّةً لِوجهة رِزمة البيانات لِتَتواصل مع مَصدَرها وتزوِّده بمَعلُوماتٍ مُتنوِّعةٍ عن حالة الشَّبكة أَو عن مسائِلَ أُخرَى

---

[180] انظر ص. 22-24 في [RFC1122] ثَبت المَراجِع.

[181] انظر [RFC826] وص. 14 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[182] تُستعمل كَلمتا "مَعكُوسٍ" و"عَكسيٍّ" استعمالاً مُتبادلاً لِلدَّلالة على المَعنَى المُقابِل لِلكلمتين Inverse وReverse. واعتمدنا التَّعريب الوَارِد في قامُوس المَورِد، انظر ص. 606 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع للأُولى، وص. 993 لِلأُخرى.

[183] أَصل الاسم Inverse Address Resolution Protocol، اختصاراً InARP، انظر في [RFC1293] ثَبت المَراجِع.

[184] أَصل الاسم Reverse Address Resolution Protocol، اختصاراً RARP، انظر [RFC903] في ثَبت المَراجِع.

مُرتبِطةٍ بمُعالَجة الرِّزمة. طُوِّر البرُوتُوكُول في العام 1981م، ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 792،[185] وسيُناقَش بالتَّفصيل في الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب.

برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت[186]

هُو برُوتُوكُول اتِّصالٍ يَعمل على مُستوَى طَبقة الشَّبكة ويُدير المَجمُوعات الخاصَّة بالبثِّ المَجمُوعاتي لِرزَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ويُحدِّد كيفيَّة انضمام المُضيفِين إلى المَجمُوعات وكيفيَّة مُغادرتها آليّاً. بالإضافة لِذلك، لا يُقيِّد البرُوتُوكُول عَدَد أعضاء المَجمُوعة ولا مَواقِعهم، كما يَسمَح لِمُضيفٍ وَاحِدٍ بالانضمام إلى أكثر مِن مَجمُوعةٍ في الوقت نفسِه، وستُناقَش هذه المسائِل بالتَّفصيل في الفصل الخامِس مِن هذا الكِتاب.

طَوَّرت مَجمُوعة مُهندسِي الإنترنِت ثلاثة إصداراتٍ مِن برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت، جاء أوَّلها في العام 1989م، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 1112،[187] وحَدَّد آليَّات انضمام المُضيف إلى مَجمُوعةٍ ما أو مُغادرتها. أمَّا الإصدار الثَّانِي، فطُوِّر في العام 1997م، ووُصِف في الوثيقة RFC 2236،[188] وقد احتوَى العديد مِن التَّعديلات أهمُّها السَّماح لِلمُضيف بطَلب مُغادرة المَجمُوعة. أمَّا الإصدار الثَّالِث فطُوِّر في العام 2002م، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 3376،[189] ويَدعَم مِيزاتٍ إضافيَّةً أهمُّها البثُّ المَجمُوعاتيُّ مُحدَّد المَصدَر.[190]

حِزمة أَمن برُوتُوكُول الإنترنِت[191]

هي مَجمُوعةٌ مِن البرُوتُوكُولات الَّتي تُستعمَل لِتَأمين خِدمات الخُصوصيَّة والمُصادَقة في طَبقة الشَّبكة ولِضمان أَمن الاتِّصال بين البوَّابات أو بين مُضيفٍ وبوَّابةٍ أو بين مُضيفَين، وذلك مِن أجل الإصدارين الرَّابِع و السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ومِن أجل برُوتُوكُولاتٍ تشبيك أُخرى.

هذه الحِزمة هي مِعيارٌ حُرٌّ، ويُمكِن حصر الوظائِف المُتنوِّعة الَّتي تُقدِّمها في برُوتُوكُولين ومَجمُوعة خوارزميَّاتٍ هي:

- برُوتُوكُول ترويسات المُصادَقة[192] ويُؤَمِّن سلامة رزم البيانات والتَّحقُّق مِن هوية مَصدَرها.
- برُوتُوكُول تأمين الحُمُولة بالتَّغليف[193] ويُؤَمِّن سِريَّة البيانات ويَحمِيها مِن الهَجمَات المُعتمِدة على رسائِل الرَّدِّ.
- تنظيمات الأَمن[194] وهي مَجمُوعةٌ مِن الخوارزميَّات والمُحدِّدات الَّتي تُستعمَل مِن قِبل البرُوتُوكُولين السَّابِقين.

[185] انظر [RFC792] ثَبت المراجع.

[186] أصل الاسم Internet Group Management Protocol اختصاراً IGMP.

[187] انظر ص. 11 في [RFC1112] في ثَبت المَراجِع.

[188] انظر [RFC2236] في ثَبت المَراجِع.

[189] انظر [RFC3376] في ثَبت المَراجِع.

[190] أصل الاسم Source-Specific Multicast، اختصاراً SSM.

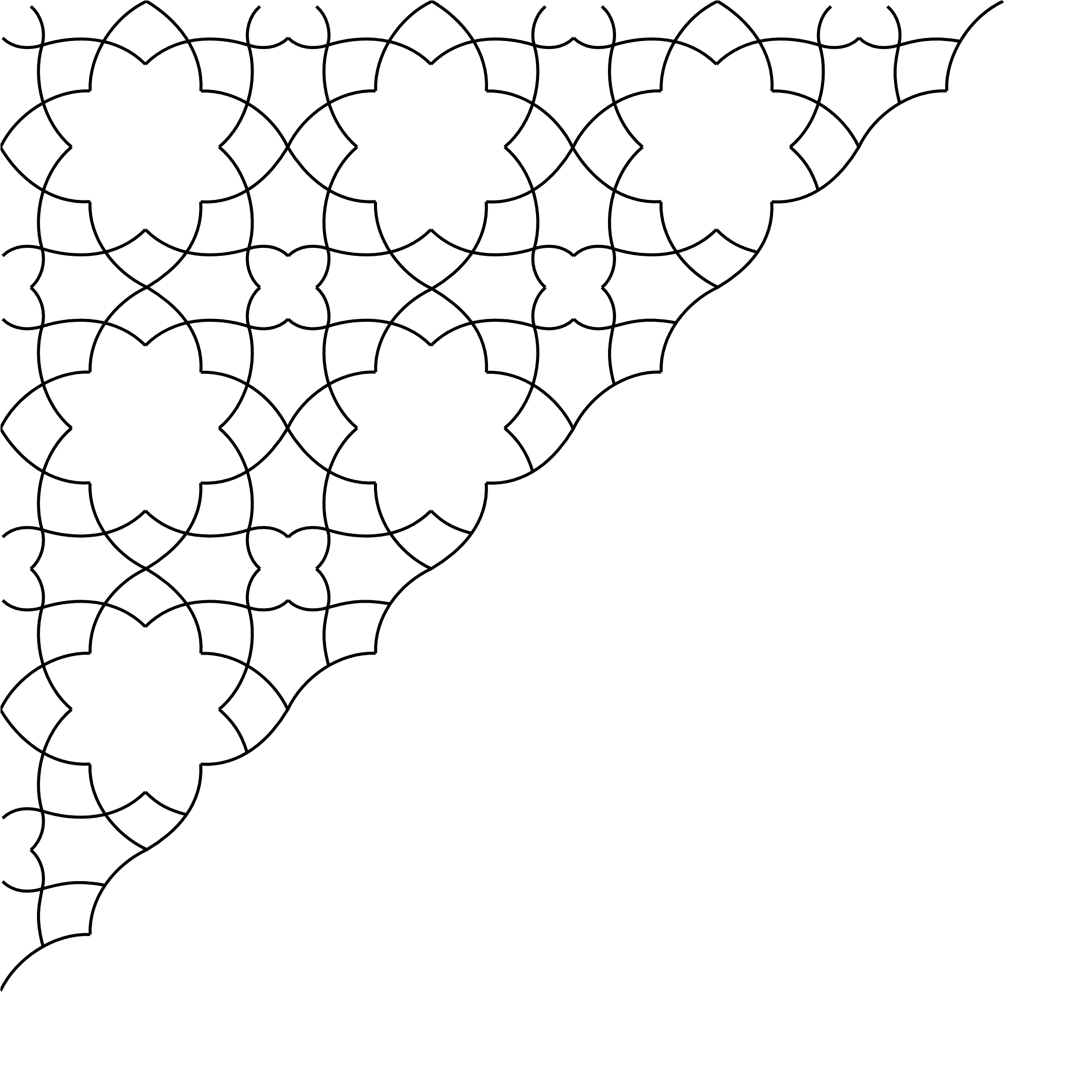
[191] أصل الاسم Internet Protocol Security، اختصاراً IPsec.

[192] أصل الاسم Authentication Headers، اختصاراً AH، انظر [RFC2402] في ثَبت المَراجِع.

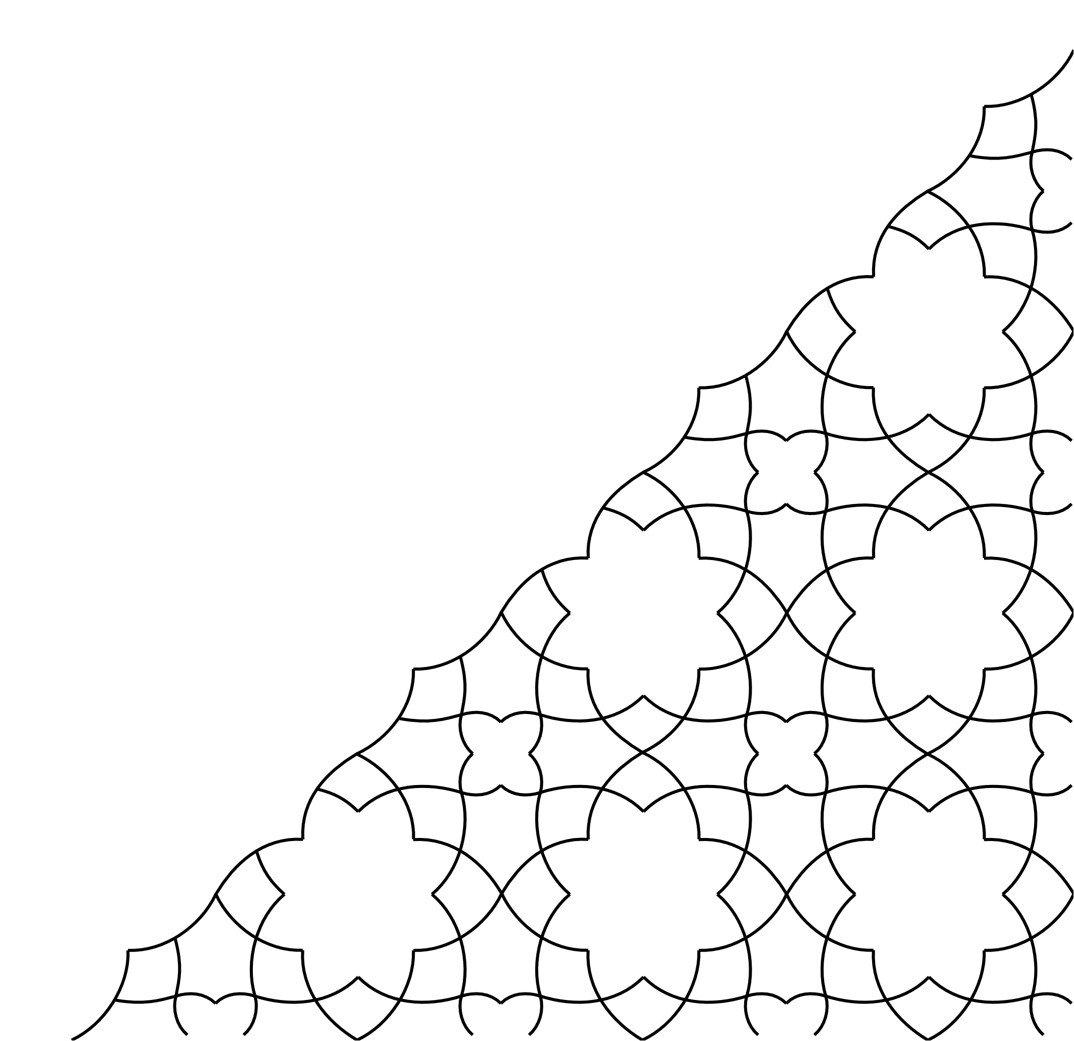
[193] أصل الاسم Encapsulating Security Payload، اختصاراً ESP، انظر [RFC2406] في ثَبت المَراجِع.

[194] أصل الاسم Security Associations، اختصاراً SA، انظر [RFC2408] في ثَبت المَراجِع.

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل الرَّابِع: تجزِئة فضاء العناوين



مُقدِّمةٌ

تجزِئة فضاء العناوين[195] هي عمليَّةٌ رِياضيَّةٌ تُقسِّم فضاء عناوين خاصٍّ ببرُوتُوكُول تشبيكٍ إلى فضاءَي عناوينَ أو أكثرَ تُسمَّى الأفضية الجُزئيَّة، وتُستخدَم العناوين المَأخُوذة مِنها لِعنونة شَبكاتٍ مُختلِفةٍ. تَكُون الأفضية الجُزئيَّة مُتساوِية الحَجم ومُتمايزةً رِياضيَّاً وأصغرَ مِن فضاء العناوين الأَصيل، لِكُلِّ فضاء عناوينَ جُزئِيٍّ عُنوانٌ مُميَّزٌ وقِناع فضاءٍ يُمثِّلان معاً الفضاء الجُزئِيِّ كامِلاً.

يَحتاج مُصمِّمو الشَّبكات إلى تجزِئة أفضية عناوينهم، إمَّا بهدف الوصُول إلى عَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة أو لِضَبط عَدَد العناوين المُتاح لِلاستخدام في أيٍّ مِن الأَفضية الجُزئيَّة، أو لِكِلا الهدفين معاً. يُمكِن تجزِئة أفضية العنونة الَّتي تَستخدِم عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت وَفقاً لِشكلين: الأَوَّل مَحكُومٌ بالصَّنف القِياسيِّ لِلفضاء، والآخر مَبنيٌّ على العنونة غير الصَّنفيَّة الَّتي اُبتُدعت لِتخفيف هدر العناوين في الشَّكل الأَوَّل.

عمليَّة التجزِئة هي آليَّةٌ رَئيسةٌ يَعتمِد عليها التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات واستخدام أَقنعة الأَفضية الجُزئِيَّة مُختلِفة الأَطوال، ويُؤَدِّي إنجازها إنجازاً غير صحيحٍ أو استخدام الأَفضية الجُزئِيَّة استخداماً غير مُناسِبٍ إلى ظُهُور مُشكِلاتٍ في الشَّبكة تَرتبِط بالعنونة وبالتَّوجيه.

يَبدَأ هذه الفصل بعَرض نبذةٍ تاريخيَّةٍ تَشرح كيف تَطوَّر هذا المَفهُوم يَليها تَذكِرةٌ رِياضيَّةٌ بأَساسيَّات أَنظمة العدِّ وشرحٌ لِكيفيَّة إنجاز العَطف المَنطِقيِّ ثُمَّ شرحٌ لِمَبدَأ عمل التَّجزِئة إذا كانت العنونة صَنفيَّة أو غير صَنفيَّة. يَلي ذلك تناول سِتِّ حالاتٍ يَلزَم فيها استعمال التَّجزِئة لِلاستجابة لِمُتطلِّباتٍ مُختلِفةٍ لِلعنونة، وأخيراً، تَناوُلٌ لِلمُشكِلات ذات الصِّلة بالتَّجزِئة.

نَبذةٌ تاريخيَّةٌ

تجزِئة فضاء العناوين هي إحدَى الآليَّات الرَّئيسة الَّتي اعتمدت عليها الإنترنِت في أَثناء نُمُوِّها وتَطوُّرها لِتَصل إلى ما هي عليه. كانت هيكليَّة عناوينَ الإنترنِت الأُولَى مُكوَّنةً مِن مُستوَيين: الأَوَّل هُو مُستوَى أَعلَى يَربُط بين الشَّبكات وسُمِّي شَبكة كَاتِينِت[196]، والآخر هُو مُستوَى الشَّبكات الَّتي يُراد ربط بعضِها مع بعضٍ، والَّتي يَكُون لِكُلٍّ مِنها عُنوان شَبكةٍ مُميَّزٌ. يَلزَم الانتباه إلى أَن هذا التَّوصيف لا يَعني أَن طُوبُولُوجيا الإنترنِت الأُولَى كانت هرميَّةً، لكنَّ المَقصُود هُو أَنَّ الرُّؤية الأَوَّليَّة لِبِنية نِظام العنونة في الشَّبكة كانت هرميَّةً.[197]

---

[195] أَصل الاسم Subnetting وهي كَلمةٌ مُكوَّنةٌ مِن مَقطَعَين: -sub وهي بادِئةٌ تَعني فَرعيٌّ أَو جُزئِيٌّ، وnet وتعني الشَّبكة، انظر ص. 766 و1168 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع، ووَردَ هذا المُصطلَح أَيضاً مُعرَّباً إلى شَبكةٍ فَرعيَّةٍ في ص. 79 في [BKA05]. ويَشيع خطأً استعمال كلمتي فضاء Space وشبكة Network على أَنَّهما مُترادِفتان تُؤدِّيان المَعنَى نفسَه، والصَّواب في ما رَأينا أَنَّ الشَّبكة هي العَتاد المادِيُّ مع ما فيه مِن برمجيات، أَمَّا الفضاء فهُو مَجمُوعةٌ مِن الأَغراض المُتجانِسة غير الماديَّة نحو الأَعداد أَو العناوين أَو النِّقاط، وقد تَكُون مُنتهيَّةً أَو غير مُنتهيَّةٍ، وقد وقعنا في هذا الخطَأ في كِتابنا السَّابِق (انظر [BKA07])، ولكنَّنها تجنَّبناه في هذا الكِتاب وقوَّمناه في كُلِّ مواقع وروده.

[196] أَصل الاسم Catenet، وهُو اختصارٌ لِعبارة Concatenated network الَّتي تَعنِي الشَّبكة المُتسلسِلَة. وكان لُويس پُوزَان (انظر ترجمته في حواشِي الفصل الثَّاني مِن هذا الكِتاب) هُو أَوَّل مَن صَاغ هذا المُصطلَح. لِلمزيد حول ذلك، انظر ما جاء في ص. 21 في [ART21] في ثَبت المَراجِع.

[197] انظر ما جاء في هذا الخُصوص في ص. 4 في [RFC917] في ثَبت المَراجِع.

أَشار دِيفِيد كلَارك[198] في وثيقة مُلاحظات تَّجارب الإنترنِت رَقم 46 المَنشُورة في العام 1978م،[199] إلى بِنية عُنوان الفضاء المُستعمَل، وإلى المُشكِلات المُتوقَّعة نتيجةً لِذلك. كان طُول العُنوان 32 بتاً قُسِّمت إلى قِسمين: أَحدهما خاصٌ بالفضاء طُوله 8 بتاتٍ، ويَسمَح بوجُود 256 فضاءً مُختلِفاً فقط، وآخرُ خاصٌ بالمُضيفِين، طُوله 24 بتاً، ويُستعمَل لِعنونة المُضيفِين مَحلِّيّاً، كان عَدَد الأَفضية هذا كافياً في ذلك الوقت، ولكنَّه لم يَكُن مُناسِباً لِلتَّوسُّع المُتوقَّع لِلشَّبكة، وقد اقترح كلَارك البدء بالإعداد لِتلك المَرحلة مُبكِّراً وقدَّم بعضاً مِن الحُلُول.

بعد ذلك، طُوِّر الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في العام 1981م، ووُصِف في الوثيقة RFC 791، كما تَقدَّم، وفيه اُعتمد طُول العُنوان لِيَكُون 32 بتاً، وقُسِّم فضاء العنونة المُخصَّص لِلمُضيفِين رِياضيّاً إلى ثلاثة أَصنافٍ قياسيَّةٍ هي الصَّنف A والصَّنف B والصَّنف C، ووُصِفت هذه الأَصناف بأَنَّها قِياسيَّةٌ لأَنَّه يَكفِي مَعرفة الصَّنف الَّذي يَنتمِي العُنوان إليه لِتحديد طُول مُعرِّف الفضاء وطُول مُعرِّف المُضيف.[200]

يُحدِّد طُول مُعرِّف الفضاء عَدَد أَفضية العناوين في كُلِّ صَنفٍ، ويُحدِّد طُول مُعرِّف المُضيف عَدَد العناوين المَوجُودة في كُلِّ فضاءٍ، وبما أَنَّ المُعرِّفات في الأَصناف القِياسيَّة ثابِتة الطُّول مِن أَجل كُلِّ صِنف، فإنَّ عَدَد الأَفضية وحجمها ثابِتان أَيضاً. فضاء عناوين الصَّنف A هُو الأَكبر، ويُوجَد 256 فضاءً يَحتوِي كُلٌّ مِنها أَكثر مِن 16 مليوناً مِن العناوين، يَليه حَجماً فضاء عناوين الصَّنف B، الَّذي يَحتوِي 65536 عنواناً، وأَخيراً فضاء عناوين الصَّنف C الَّذي يَضمُّ 256 عُنواناً (الجدول 4-1).

الجدول (4-1): الحُدُود النَّظريَّة لِلأَصناف القِياسية في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

الصِّنف	أَطوال أَقسام العُنوان (بتٌ)			عَدَد الأَفضية في الصَّنف	عَدَد العناوين في كُلِّ فضاءٍ
	بتاتٌ مَحجُوزةٌ	مُعرِّف الفضاء	مُعرِّف المُضيف		
الصَّنف A	1	7	24	2^7-2[201]	2^{24}
الصَّنف B	2	14	16	2^{14}	2^{16}
الصَّنف C	3	21	8	2^{21}	2^8

كانت خِيارات العُملاء تَبعاً لِلعنونة الصَّنفيَّة مَحدُودةً، فإمَّا اختيار فضاءٍ مِن الصَّنف C لا يُلبِّي حاجتهم كامِلةً لِصِغر حجمه، أَو اختيار فضاءٍ مِن الصَّنف B يَغطِّي حاجتهم، ولكنَّه يَفيض عنها أَيضاً بعَشرات آلاف العناوين الَّتي تَضيع هَدراً.

[198] دِيفِيد كلَارك David Clark (1944-) هُو مُهندِسٌ أَمريكيٌّ وعالِم حاسُوبٍ حَصل على درجة البَكَالُوريُوس في عام 1966م مِن كلية سَوارثمُور في بِنسِلفَانيا وعلى درجة المَاجِستير في عام 1968م مِن مَعهد مَاسَاشُوستِس لِلتَّقانة وكِلاهُما في الهندسة الكهربائِيَّة، ثُمَّ حَصل على درجة الدُّكتُوراه في عام 1973م مِن مَعهد مَاسَاشُوستِس لِلتَّقانة أَيضاً. كلَارك هو أَحد روَّاد الإنترنِت الَّذين عَمِلوا على تطويرها مُنذ مُنتصف السَّبعينيَّات.

[199] انظر ص. 2 في [IEN46] في ثَبت المَراجِع.

[200] انظر ص. 7 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

[201] فضاء العناوين 0.0.0.0/8 مَحجُوزٌ كامِلاً، ولا يُستعمَل في عَنونة المُضيفِين إلا ضِمن عمليَّة التَّهيئة الآليَّة، والفضاء 127.0.0.0/8 مَحجُوزٌ أَيضاً لِأَغراض الحَلقة العكسيَّة Loopback ولا يُستخدَم في عَنونة المُضيفِين.

طُوِّرت آليَّة تجزئة الأَفضية في العام 1985م لِحلِّ هذا الإشكال، ووُصِفت في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 950.[202] وكان الهدف مِنها إضافة مُستوىً جديدٍ للتَّعامل مع أَفضية العناوين القِياسيَّة، ليُصبح مِن المُمكِن تقسيم فضاء الصَّنف نفسِه إلى عَدَد مِن الأَفضية الجُزئيَّة، الَّتي يُمكِن تميِّزها رِياضيَّاً واستخدامها في عنونة أَفضيةٍ مُختلِفةٍ. سَاهَم استعمال التَّجزِئة في توفير أَفضيةٍ جُزئيةٍ ذات أَحجامٍ مُتنوِّعةٍ تَتَوافَق مع حاجات العُملاء، فأَدَّى ذلك إلى تخفيض سرعة استنفاد فضاء العناوين، وإلى الحدِّ مِن الهَدر، ولكنَّه خَلَق مُشكِلةً جديدةً هي عَدَد الأَفضية الكبير النَّاتِج وأَحجام جداول التَّوجيه اللَّازِمة لِلتَّعامل مع هذا العَدَد.

طُرِح حَلُّ تجميع الأَفضية[203] لِعلاج هذه المُشكِلة وهُو آليَّةٌ لِتجميع عناوين بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة أَو كُلِّها معاً لإِنتاج عُنوانٍ واحِدٍ يُمثِّل فضاءً أَكبرَ، يُمكِن بعد ذلك استخدَام هذا العُنوان في المُوجِّهات لِتوجيه الرِّزم باتِّجاه الشَّبكات المُعنوَنة بعناوينَ مِن هذه الأَفضية الجُزئيَّة. أَضافت هذه التِّقنية بعضاً مِن القُيُود على آليَّات مَنح العناوين، ولكنَّها قَدَّمَت حلَّاً لِمُشكِلة الأَحجام الكبيرة لِجداول التَّوجيه هُو الاختزال،[204] وبات بالإِمكان تجزِئة الشَّبكات مِن غير القلق مِن الزِّيادة المُفرِطة في حَجم جداول التَّوجيه.

طُرِحت الوثيقة RFC 1519 في العام 1993م، وبعد 12 عاماً على استخدام العنونة الصَّنفيَّة، الَّتي قَدَّمت مَفهُوماً جديداً هُو التَّوجيه غير الصِّنفيِّ بين النِّطاقات لِيَكُون آليَّةً لِتوجيه رِزم البيانات بين الشَّبكات اعتماداً على نمط عنونةٍ غير قِياسيٍّ هُو العنونة غير الصَّنفيَّة. عُدِّل المِعيار الأَصيل لاحِقاً، وطُرِحت وثيقة طَلب تعليقاتٍ جديدةٍ تَناولت المَوضُوع نفسَه تحت الاسم الرَّمزيِّ RFC 4632، وهي تُقدِّم طريقةً لإِنجاز عمليَّة التَّجزِئة اعتماداً على العنونة غير الصَّنفيَّة.[205]

خَلفيَّةٌ رِياضيَّةٌ

أَنظمة العدِّ[206]

نِظام العدِّ هُو طَريقة كِتابةً لِترميز مَجمُوعةٍ غير مُنتهيةٍ مِن الأَعداد باستخدام مَجمُوعةٍ مُحدَّدة مِن الأَرقام بنهجٍ مُتَّسِقٍ، ويُسمَّى عَدَد عناصر مَجمُوعة الأَرقام أَساس نظام العدِّ.[207]

---

[202] انظر [RFC950] في ثَبت المَراجِع.

[203] أَصل الاسم Supernetting وقد وَرد في عُنوان الوثيقة RFC 1338 (انظر [RFC1338] في ثَبت المَراجِع) قبل أَن يُحذَف مِن الوثائق اللَّاحِقة ذات الصِّلة، وهي كَلمةٌ مُكوَّنةٌ مِن مَقطعين: -Super وهي بادِئةٌ تَعني أَعلى أَو فوق (انظر ص. 1179 في [BKA02]) وnet وتَعني شَبكةً، فيُصبِح المَعنىَ الشَّبكة العُليَا أَو الفوقيَّة، والمُراد مِن استعمال البادِئة -super مَعنىً يُعاكِس ما تُشير إليه البادِئة -sub وهو التَّفرُّع أَو التَّجزئَة، فرَأَينا تعريبها الأَفضل إلى تجميع الأَفضية لِتُعطي مَعنىً مُعاكِساً لِلتَّجزئَة.

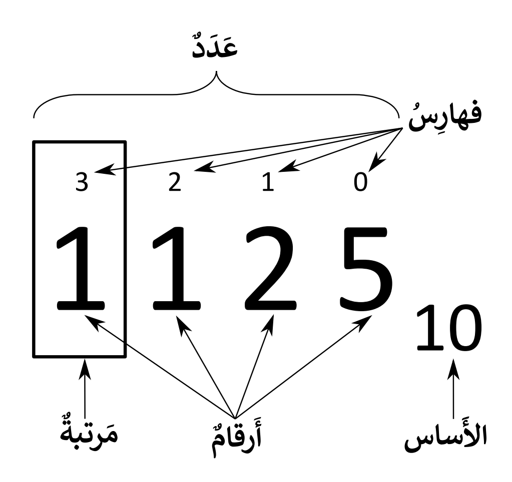
[204] الاختزال Summarization وتجميع المَسارات Route aggregation، وانظر ما جاء في شأنهما في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

[205] انظر [RFC1519] وص. 4-7 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

[206] لِلتوسُّع أَكثر في أَنظمة العدِّ انظر [BKE03] في ثَبت المَراجِع.

[207] أُصُول الأَسماء الوارِدة في هذه الفقرة: العَدَد Number والرَّقم Digit ونِظام العدِّ Numeral system وأَساس النِّظام Radix.

تَعتمِد أَنظمة العدِّ المُستعمَلة في شَبكات البيانات على التَّدوين ذي المَراتِب، وفيه يَتكوَّن العَدَد مِن مَجمُوعةٍ مِن الأَرقام المُتتابِعة الَّتي تَشغُل مَراتِبَ مُميَّزةً بفهارسَ فريدةٍ، وتَتحدَّد القِيمة المُقابِلة لِكُلِّ رَقمٍ بفَهرس المَرتَبة الَّتي يَشغُلها. تَبدَأ فَهرسة المَراتِب مِن الصِّفر، وتَزداد قِيمة الفَهرس بمِقدار 1 مِن أَجل كُلِّ رقمٍ إِلى اليسار. أَمَّا لِتمثيل الأَعداد ذَوِي الفاصِلة المُتحرِّكة[208]، فتُستخدَم فهارس سالِبة المَراتِب، أَي تَنقُص قِيمة فَهرس المَرتَبة بمِقدار 1 عند الاتجاه يميناً، ويَكُون فَهرس المَرتَبة الأُولى إِلى يمين الفاصِلة هُو 1- ثُمَّ 2- وهكذا. مثلاً، في نِظام العدِّ العَشريِّ، يَحتوِي العَدَد 1125 أَربعة أَرقامٍ: الأَوَّل هُو 5 ويَقع في المَرتَبة الأُولى وفَهرسها 0، والثَّانِي هُو 2 ويَقع في المَرتَبة الثَّانِية وفَهرسها 1، والثَّالِث والرَّابِع هُما الرَّقم 1 ويَقعان في المَرتبتين ذوَاتَي الفَهرسين 2 و3 على التَّرتِيب. وَفقاً لِنِظام العدِّ، فإِنَّ القِيمة المُقابِلة لِلرَّقم 1 في المَرتَبة 2 هي 100، والقِيمة المُقابِلة لِلرَّقم 1 في المَرتَبة 2 هي 1000، أَي أَنَّ قِيمة الرَّقمين 1، في العَدَد 1125 تَحدَّدت تَبعَاً لِفَهرس المَرتَبة الَّتي يَشغُلها كُلٌّ مِنهما (الشَّكل (4-1)).



الشَّكل (4-1): سردٌ بالمُصطلحات المُستعمَلة في أَنظمة العدِّ ذَوَات المَراتِب

تُستعمَل ثلاثة أَنظمة عدٍّ لِتمثيل عناوين بِرُوتُوكُول الإِنترنِت: [209]

- نِظام العدِّ الثُّنائِيِّ: هُو نِظام عدٍّ ثابِت الأَساس ذُو مَراتِبَ، أَرقامه 0 و1 وأَساسه 2. يُضاف الرَّقم 2 إِلى أَسفل ويمين العَدَد المَكتُوب بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ أَو يُسبَق بالبادِئة 0b أَو 0B. مَثلاً يُشار إِلى أَن العَدَد 101 ثُنائِيٌّ بالشَّكل التَّالِي: $(101)_2$ أَو 0b101. يُستعمَل هذا النِّظام أَيضاً لِتمثيل القِيم البُوليانيَّة[210] الَّتي يُمكِن أَن تُمثَّل باستعمال أَيِّ نِظامٍ يَضمُّ حالتين فقط: {تشغيلٌ، تعطيلٌ} أَو {صوابٌ، خطأٌ} أَو {نعم، لا}...
- نِظام العدِّ العَشريِّ: هُو نِظام عدٍّ ثابِت الأَساس ذُو مَراتِبَ، أَرقامه مِن المَجمُوعة {0، 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9} وأَساسه 10، وهُو أَكثر الأَنظمة شِيوعاً واستخداماً. لِلإِشارة إِلى أَنَّ عَدَداً ما مُمثَّلٌ بنِظام العدِّ العَشريِّ يُضاف

[208] أَصل الاسم Floating point.

[209] أُصول أَسماء أَنظمة العدِّ: لِلثُّنائِيِّ Binary numeral system ولِلعَشريِّ Decimal numeral system ولِلسِّتة عَشريِّ Hexadecimal numeral system.

[210] نسبةً إِلى جُورج بُول George Boole (1815-1864)، وهُو رِياضيٌّ وفيلسوفٌ وعالِمُ مَنطِقٍ إِنكليزيٌّ، أَسسَ فَرعاً في الجبر سُميَّ على اسمه وهُو الأَساس الَّذي قامت عليه ثورة المَعلُومات في القَرن العِشرين، له أَيضاً أَعمالٌ بارِزةٌ في المَعادلات التَّفاضليَّة والمَنطق الجبريِّ.

الرَّقم 10 إلى أَسفل ويمين العَدَد أَو يُسبَق بالبادِئة 0d. مثلاً، يُشار إلى أَنَّ العَدَد 101 مَكتُوبٌ بنِظام العدِّ العَشريِّ بالشَّكلين $(101)_{10}$ أَو 0d101.

- نِظام العدِّ سِتة العَشريِّ: هُو نِظام عدٍّ ثابِت الأَساس ذُو مَراتِب، أَرقامه مُكوَّنةٌ مِن مَجمُوعتين مِن الرُّموز هُما {0، 1، 2، 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9} و{A، B، C، D، E، F}، وأَساس النِّظام هُو 16. اُستِخدم نِظام العدِّ سِتة العَشريِّ في شَبكات البيانات لِأَنَّه يُوفِّر طريقةً سهلةً وسريعةً لقراءَة وكِتابة تتابعاتٍ طَويلة مِن الأَصفار والوِحدان تُمثِّل كُلُّ 4 بتاتٍ فيها برقمٍ سِتة عَشريٍّ واحِدٍ فقط. للإشارة إلى أَن العَدَد مَكتُوبٌ بنِظام العدِّ السِّتَّ عَشريِّ، تُضاف البادِئة 0x إلى يسار العَدَد أَو اللَّاحِقة h إلى يمينه، أَو يُضاف الرَّمز 16 إلى أَسفل ويسار العَدَد. مثلاً للدَّلالة على أَن العَدَد 101 مَكتُوبٌ بنِظام العدِّ الست عشري يُكتب 0x101 أَو h101 أَو $(101)_{16}$.

بصورةٍ عامَّةٍ، لو كان عَدَدٌ ما، لِيكن A، مَكتُوباً بنِظام عَدٍّ أَساسه B، ومُؤَلَّفاً مِن عَدَد مِن المَراتب N مُرتَّبةً تَبعَاً لِلأَهمِّيَّة ضِمن مَصفُوفة وحيدة البُعد D طولها N، فبالإمكان التَّعبير عنه بِصِيغة مَجمُوعٍ في نِظام العدِّ العَشريِّ كما في العَلاقة (4-1):

$$A = \sum_{i=0}^{N} D_i\, B^i \qquad (1\text{-}4)$$

على سبيل المثال، يُمكِن وَفقاً لِلعَلاقة (4-1) تَمثيل العَدَد 101 المَكتُوب بأَنظمة العدِّ الثُّنائِيِّ والعَشريِّ وستة العَشريِّ على التَّرتيب كما يَلي:

$$(101)_2 = 1 * 2^0 + 0 * 2^1 + 1 * 2^2$$

$$(101)_{10} = 1 * 10^0 + 0 * 10^1 + 1 * 10^2$$

$$(101)_{16} = 1 * 16^0 + 0 * 16^1 + 1 * 16^2$$

يُستعمَل نِظاما العدِّ الثُّنائِيِّ والعَشريِّ لِتمثيل عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت،[211] ونِظاما العدِّ الثُّنائِيِّ وستة العَشريِّ لِتمثيل عناوين الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت كما سيَرِد في الفصل العاشِر مِن هذا الكِتاب.

العَطف المَنطِقيُّ[212]

هُو عمليَّةٌ مَنطقيَّةٌ بين عَدَدين مَكتُوبين بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ يُسمَّيان المَدخَلان، يَنتُج عنها قِيمةٌ مَنطقيَّةٌ ثالِثةٌ تُسمَّى الخَرج، تَفترِض العمليَّة أَنَّ قِيمة الخرج ستَكُون صواباً، إذا وَفقط إذا، كانت قِيمة المَدخَلين صواباً معاً (الجدول (4-2)).

يَلزَم لِإجراء عمليَّة العَطف المَنطِقيِّ بين عَدَدين تُمثِّيلهما بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ أَوَّلاً، ثُمَّ تنفيذ العمليَّة تَبعَاً لِجدول الحقيقة الخاصِّ بها على أَزواجٍ مِن القِيم المَنطقيَّة مَأخُوذةٍ مِن العَدَد الأَوَّل والثَّاني على التَّرتيب، يَضمُّ كُلُّ زَوجٍ رَقمين لهما المَرتَبة

211 سَبق وأَشرنا إلى أَنَّ عناوينَ الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت تُكتَب باستعمال التَّدوين العَشريُّ المُنقَّط وهو نِظامٌ لِكِتابة الأَعداد مُشتَقٌ مِن نِظام العدِّ العَشريِّ، انظر ما جاء في شأنه في الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب.

212 لِلتَّوسُّع في هذا السِّياق انظر ص. 11 وما بعدها في [BKE04] في ثَبت المَراجِع.

نفسُها، أيّ يَتشكَّل الزَّوج الأَوَّل مِن الرَّقم المَوجُود في المَرتَبة ذات الفَهرس 0 في العَدَد الأَوَّل، والرَّقم المَوجُود في المَرتَبة ذات الفَهرس 0 في العَدَد الثَّانِي. ويَتشكَّل الزَّوج الثَّانِي مِن الرَّقم المَوجُود في المَرتَبة ذات الفَهرس 1 في العَدَد الأَوَّل، والرَّقم المَوجُود في المَرتَبة ذات الفَهرس 1 في العَدَد الثَّانِي، وهكذا. أَخيراً، يُعاد تمثيل النَّاتِج بنِظام العدِّ الأَصيل.

الجدول (4-2): جدول الحقيقة لِعمليَّة العطف المَنطِقيِّ

المَدخَل الأَوَّل	المَدخَل الثَّانِي	الخَرج
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

مثلاً لِإجراء عمليَّة العَطف المَنطِقيِّ بين العَدَدين $(143)_{10}$ و$(254)_{10}$ تُتَّبَع الخَطوات التَّالِية (الجدول (4-3)):

1. يُمثَّل العَدَدان بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ، وتَكُون القِيمتان على التَّوالِي هُما $(10001111)_2$ و$(11111110)_2$.
2. تُجرَى عمليَّة العَطف المَنطِقيُّ بين قِيمتي كُلِّ مَرتبتين مُتقابِلتين تَبعاً لِجدول الحقيقة (الجدول (4-2))، وستَكُون النَّتيجة $(10001110)_2$.
3. يُعاد تحويل النَّاتِج إلى نِظام العدِّ العَشريِّ، وهُو يُقابل القِيمة $(142)_{10}$.

الجدول (4-3): عمليَّة العطف المَنطِقيِّ بين العَدَدين $(143)_{10}$ و$(254)_{10}$

العَدَد	القِيمة العَشريَّة	القِيمة الثُّنائِيَّة	الأَرقام تَبعاً لِفهارس المَراتِب في نِظام العدِّ الثُّنائِيِّ								الخَرج بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	الخرج بنِظام العدِّ العَشريِّ
			0	1	2	3	4	5	6	7		
الأَوَّل	143	1000 1111	1	1	1	1	0	0	0	1		
الآخر	254	1111 1110	0	1	1	1	1	1	1	1		
خَرج العمليَّة			0	1	1	1	0	0	0	1	1000 1110	142

مَبدَأ العمل[213]

تجزِئة فضاء العناوين هي عمليَّةٌ رِياضيَّةٌ يُقسَّم فيها فضاء عناوينَ إلى فضاءَين جُزئِيَّين أَو أَكثر ذوي أَحجامٍ أَصغرَ مِن الفضاء الأَصل. تَتمايز الأَفضية الجُزئِيَّة عن الفضاء الأَصيل باستعمال عَدَدٍ خاصٍّ يُسمَّى قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة.

تَتكوَّن بِنية عُنوان المُضيف في العنونة الصَّنفيَّة مِن ثلاثة أَقسامٍ: البِتات المَحجُوزة ومُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المُضيف، ويُقاس طُول المُعرِّفَين بالبت. يَكُون مُعرِّف الفضاء مُشتَركاً بين العناوين الَّتي تَنتمِي إلى الفضاء نفسِه، أَمَّا مُعرِّف المُضيف، فيُستخدَم لِتمييز المُضيفِين، وتَختلِف قِيمته مِن مُضيفٍ إلى آخرَ، ويُحدِّد طُوله عَدَد العناوين المَوجُودة ضِمن الفضاء، فإذا كان طُول مُعرِّف المُضيف هُو n بتاً، فإنَّ عَدَد العناوين المَوجُودة في الفضاء سَيَكُون 2^n عُنواناً، أَمَّا عَدَد العناوين المُتاحة لِعنونة المُضيفِين فيَكُون $2^n - 2$ عُنواناً، لِأَنَّ العُنوان الأَصغر في الفضاء يَكُون مَحجُوزاً دائِماً لِيُمثِّل الفضاء كامِلاً، أَمَّا العُنوان الأَكبر فيه فيُمثِّل عُنوان البثِّ العامِّ.

[213] نُشير إلى مُؤلَّفنا السَّابِق في هذا الخُصُوص، وعُنوانه "مذكرةٌ في أُصول تجزِئة الشَّبكة"، ويُمكِن الاطِّلاع عليه في [BKA07] في ثَبت المَراجِع، مع التَّحفُّظ على استعمال كلمة "الشَّبكة" خطَأً بدلاً عن "الفضاء" كما أَشرنا سابقاً.

عند تحصيص فضاء عناوينَ صِنفيٍّ، يَقع الحدُّ الفاصِل بين مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المُضيف عند المَراتِب الَّتي تشكِّل حدود الخانات في العُنوان، أَي يَحصُل كُلُّ عميلٍ يَتصل مع الإنترنِت على فضاء عنونةٍ جُزئِيٍّ مُحدَّدٍ بعَدَد مِن البِتات المَحجُوزة مع مُعرِّف فضاءٍ بطُولٍ إجماليٍّ لِلاثنين يَبلُغ 1 أَو 2 أَو3 بايتاتٍ تَبعَاً لِصَنف الفضاء. يُمكِن لِمُدِير الشَّبكة بعدها أَن يُجزِّئ الفضاء بمُقتضَى الحاجة إلى أَفضيةٍ أَصغرَ حَجماً مِن خلال اقتطاع جُزءٍ مِن مُعرِّف المُضيف وتشكيل قِسمٍ جديدٍ هُو مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ،[214] في حين يَبقَى طُول مُعرِّف الفضاء ثابِتاً (الشَّكل (4-2)). فإذا اُقتطِع b_{SID} بتاً مِن مُعرِّف المُضيف، فإنَّ طُوله الجديد سيُصبِح b'_{HID} بتاً، وسيُحسَب وَفقاً لِلعَلاقة (4-2):[215]

$$b'_{HID} = b_{HID} - b_{SID} \qquad (4\text{-}2)$$

يَكُون مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُشترَكاً بين العناوين في كُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ، ويُحدِّد طُوله عَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة النَّاتِجة عن التَّجزِئة كما أُسلِف.



الشَّكل (4-2): التَّغيُّر في بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت بعد التَّجزِئة في العنونة الصِّنفيَّة

أَمَّا في العنونة غير الصِّنفيَّة، فإنَّ الحدَّ الفاصِل بين مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المُضيف قد يُوجَد في أَيِّ خانةٍ ضِمن العُنوان، ولا قَواعِدَ أَصنافٍ تُحدِّد الأَطوال، بل تُولَّد البادِئة وَفقاً لِهرميَّةٍ تَعتمِد على مَوقِع العميل كما سيَرِد بالتَّفصيل في الفصلين السَّابِع والثَّامِن مِن هذا الكِتاب. تُمثِّل كُلُّ بادِئةٍ فضاءً جُزئِيّاً مُقتَطَعاً مِن فضاء العناوين الكُلِّيِّ، ويُمكِن إعادة تجزِئته مُجدَّداً بمُقتضَى الحاجة مِن خلال اقتطاع جُزءٍ مِن مُعرِّف المُضيف وتشكيل قِسمٍ جديدٍ هُو مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ (الشَّكل 4-3).

قبل التَّجزِئة
بادِئة الفضاء
مُعرِّف المُضيف
بعد التَّجزِئة
بادِئة الفضاء
مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ
مُعرِّف المُضيف

الشَّكل (4-3): التَّغيُّر في بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت بعد التَّجزِئة في العنونة غير الصِّنفيَّة

[214] أَصل الاسم Subnet identifier، اختصاراً SID.

[215] في ما سيَأتي في هذا الفصل يُستعمَل المِحرَف b لِلإشارة إلى مِقدارٍ مُكوَّنٍ مِن عَدَد مِن البِتات والمِحرَف N لِلإشارة إلى مِقدارٍ مَعدُوم الوَاحِدة نحوُ عَدَد العناوين أَو عَدَد الأَفضية، تُضاف كلماتٌ أَو رُموزٌ توضيحيَّة إلى أَسفل ويمين المَحارِف لِتمييزها.

يَلزَم في هذا السِّياق التَّمييز بين مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وعُنوان الفضاء الجُزئِيِّ، فالأَوَّل هُو عَدَدٌ مِن البتات المُقتطَعة مِن مُعرِّف المُضيف لِتشكيل مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، أَمَّا الثَّانِي فهو عُنوان برُوتُوكُول إنترنتٍ يُميِّز فضاء عناوينَ جُزئِيَّاً ناتِجاً عن عمليَّة التَّجزِئة.

تجزِئة فضاء العناوين

تجزِئة فضاء عناوين صِنفيٌّ

هي تقسيم فضاء عناوينَ لِصَنف قِياسيٍّ مِن أَصناف البثِّ فريد الوِجهة في الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت إِلى فضاءَي عناوينَ أَو أَكثَر. يُوجَد ثلاثة أَصناف بثٍّ فريد الوِجهة هي: الصَّنف A والصَّنف B والصَّنف C. يُقتَطع عَدَدٌ مُحدَّدٌ مِن البتات المُتتالية مِن مُعرِّف المُضيف بدءاً مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّةً فيه لِإنجاز التَّجزِئة، ويُنشَأ قِسمٌ جديدٌ هُو مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ. قد تُحدِّد مُتطلَّبات التَّجزِئة شُرُوطاً إِضافيَّةً على طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أَو على طُول مُعرِّف المُضيف أَو على الاثنين معاً، وقد تُوجَد أَطوالٌ عديدةٌ مُمكِنةٌ لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ تَتَوافَق مع مُتطلَّبات التَّجزِئة، ويَعود اختيار القِيمة المُناسِبة عندها لِمُدير الشَّبكة.

الصَّنف A

يَبلُغ طُول مُعرِّف المُضيف في فضاء عناوينَ قِياسيٍّ مِن الصَّنف A 24 بتاً، وهُو يَمتدُّ على ثلاث خاناتٍ هُنَّ ذَوَات المَراتِب 2 و3 و4. عند اقتطاع مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مِن قِسم المُضيف، فإِنَّه يَبدَأ الامتداد مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّةً داخِل الخانة ذات المَرتَبة 2، ويَبقَى مَحصُوراً فيها إِذا كان طُول المُعرِّف أَقلَّ مِن 8 بتاتٍ أَو مُساوٍ، أَو قد يَمتَدُّ على الخانتين ذَوَاتي المَرتَبتين 2 و3.[216] إِذا كان طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أَكبرَ تماماً مِن 8 ولكنَّه أَصغرُ مِن 16 بتاً أَو مُساوٍ لها، أَو قد يَمتدُّ على الخانات الثَّلاثة ذَوَات المَراتِب 2 و3 و4 إِذا كان طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أَكبرَ تماماً مِن 16 بتاً.

يَختلِف طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ بمُقتضَى مُتطلِّبات التَّجزِئة، وحدُّه الأَدنَى هُو بتٌ واحِدٌ، ويَعنِي ذلك تجزِئة فضاء العناوين إِلى فضاءَين جُزئيَّين فقط، أَمَّا حدُّه الأَعلَى فهُو 22 بتاً، ويَعني ذلك تجزِئة الفضاء إِلى 2^{22} فضاءً جُزئِيَّاً في كُلٍّ مِنها 4 عناوينَ يَصلُح اثنان مِنها فقط لِعنونة المُضيفِين. مِن المُمكِن نظريَّاً اختيار طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ لِيَكُون 23 أَو 24 بتاً، لكنَّ ذلك يُنتِج أَفضية عناوينَ جُزئيَّةٍ تَحتوِي عُنوانين في الحالة الأُولَى وعُنواناً واحِداً في الحالة الثَّانِية، وفي كِلتا الحالتين لا عناوينَ صالِحةٌ لِعنونة المُضيفِين. عمليَّاً، لا استخداماتَ لِأَفضيةٍ جُزئِيَّةٌ بهذه الأَحجام في الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت.

مع إِمكانيَّة تغيير طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ ضِمن مَجمُوعة الأَعداد الصَّحيحة {1، 2، 3، ... 22}، يُمكِن تمييز الحالات التَّالِية (الشَّكل (4-4)):[217]

- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أَكبرُ مِن بتٍ واحِد أَو مُساوٍ له وأَصغرُ تماماً مِن 8 بتاتٍ.

---

[216] التَّرتيب 2 ثُمَّ 3 ذو مَغزىً في هذا السِّياق، لِأَنَّ مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يَنمُو مِن الخانة الأَكثر أَهمِّيَّةً نحو الخانة الأَقلِّ أَهمِّيَّةً.

[217] يَحوِي هذا الفصل في ما سيَأتِي أَمثلةً مُقتضَبةً عن التَّجزئة لكُلِّ صَنف قياسيٍّ، مِن أَجل أَمثلةٍ مُفصَّلةٍ لِكُلِّ حالةٍ انظر المُلحَق د.

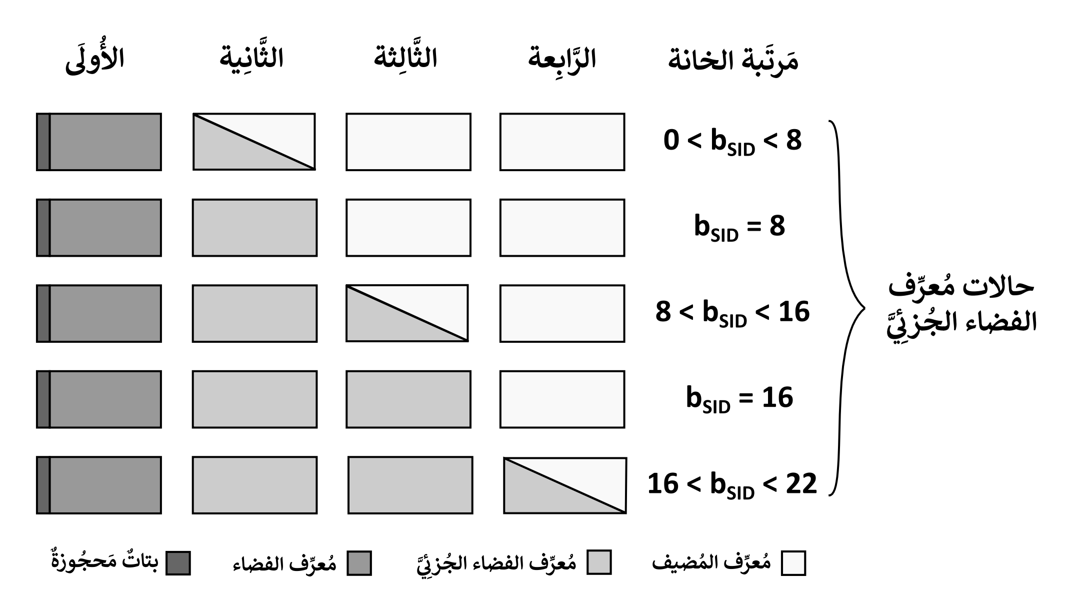
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يُساوِي 8 بتاتٍ.
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أَكبرُ مِن 9 بتاتٍ أَو يساويها وأَصغرُ تماماً مِن 16 بتاً.
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يُساوِي 16 بتاً.
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أَكبر مِن 17 بتاً أَو مُساوٍ لها وأَصغرُ مِن 22 بتاً أَو مُساوٍ لها.

يُبيِّن الجدول (4-4) الحالات الرِّياضيَّة المُمكِنة لِتجزِئة فضاءٍ مِن الصَّنف A، وفيها حالتان مُميَّزتان: عندما يَكُون طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ 8 و16 بتاً. في الأُولَى سيَكُون طُول مُعرِّف المُضيف 16 بتاً، أَي أَنَّ التَّجزِئة ستُنتِج أَفضيةً جُزئِيَّةً في كُلٍّ مِنها 2^{16}=65536 عُنواناً، وهي أَفضيةٌ مُكافِئةٌ حَجماً لِأَفضية الصَّنف B. وفي الثَّانِية سيَكُون طُول مُعرِّف المُضيف 8 بتات، أَي أَنَّ التَّجزِئة ستُنتِج أَفضيةً جزئِيَّةً في كُلٍّ مِنها 2^8=256 عُنواناً، وهي أَفضيةٌ مُكافِئةٌ حَجماً لِأَفضية الصَّنف C.

الجدول (4-4): الحالات الرِّياضيَّة المُمكِنة عند تجزِئة فضاء عناوين قِياسيٍّ مِن الصَّنف A

طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ (بتٌّ)	طُول مُعرِّف المُضيف (بتٌّ)	عَدَد أَفضية العناوين الجُزئيَّة (فضاء)	حَجم فضاء العناوين (عُنوانٌ)	قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة	
				التَّدوين العَشريُّ المُنقَّط	تدوين البادِئة
1	23	2	2^{23}	/9	255.128.0.0
2	22	4	2^{22}	/10	255.192.0.0
3	21	8	2^{21}	/11	255.224.0.0
4	20	16	2^{20}	/12	255.240.0.0
5	19	32	2^{19}	/13	255.248.0.0
6	18	64	2^{18}	/14	255.252.0.0
7	17	128	2^{17}	/15	255.254.0.0
8	16	256	2^{16}	/16	255.255.0.0
9	15	512	2^{15}	/17	255.255.128.0
10	14	1024	2^{14}	/18	255.255.192.0
11	13	2048	8192	/19	255.255.224.0
12	12	4096	4096	/20	255.255.240.0
13	11	8192	2048	/21	255.255.248.0
14	10	2^{14}	1024	/22	255.255.252.0
15	9	2^{15}	512	/23	255.255.254.0
16	8	2^{16}	256	/24	255.255.255.0
17	7	2^{17}	128	/25	255.255.255.128
18	6	2^{18}	64	/26	255.255.255.192
19	5	2^{19}	32	/27	255.255.255.224
20	4	2^{20}	16	/28	255.255.255.240
21	3	2^{21}	8	/29	255.255.255.248
22	2	2^{22}	4	/30	255.255.255.252
23	1	2^{23}	2	/31	255.255.255.254
24	0	2^{24}	1	/32	255.255.255.255

يَلزَم التَّمييز بين حَجم فضاء العناوين الجُزئِيِّ النَّاتِج عن التَّجزِئة، وهُو عَدَد العناوين الإجماليِّ الَّتي يَحتوِيها الفضاء، وبين عَدَد عناوين الفضاء الَّتي تَصلُح لِعنونة المُضيفِين. في أَفضية عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت يَكُون عَدَد العناوين الَّتي تَصلُح لِعنونة المُضيفِين أَقلَّ بعُنوانين دائِماً مِن عَدَد عناوين الفضاء الإجماليِّ. والسَّبب في ذلك أَن العنوان الأَكبر قِيمةً والعُنوان الأَصغر قِيمةً يَكُونان مَحجُوزين لِاستخداماتٍ أُخرَى: يُستخدَم الأَصغر لِيُمثِّل الفضاء الجُزئِيِّ كامِلاً، ويُستخدَم الأَكبرُ في الفضاء الجُزئِيِّ بصفته عُنواناً لِلبثِّ العامِّ لِمُضيفِي عناوين ذلك الفضاء كُلِّهم، ولا يُمكِن، نتيجةً لِذلك، استخدام هذين العُنوانين لِعنونة المُضيفِين.



الشَّكل (4-4): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في الحالات النَّاتِجة عن تجزِئة فضاء عناوينَ قِياسيٍّ مِن الصَّنف A

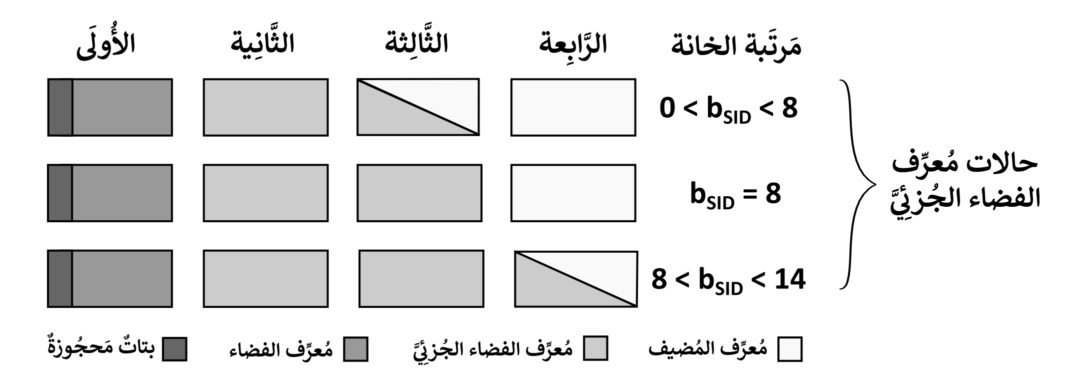
الصَّنف B

يَكُون طُول مُعرِّف الفضاء فيه 14 بتاً، بالإضافة لِوجُود بتين مَحجُوزين، ويَكُون طُول مُعرِّف المُضيف هُو 16 بتاً، ويَمتدُّ على الخانتين ذَوَاتي المَرتبتين 3 و4. عند اقتطاع مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مِن مُعرِّف المُضيف، فإنَّ مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يَنمُو ابتداءً مِن البِت الأَكثر أَهمِّيَّةً في الخانة ذات المَرتَبة 3، ويَظلُّ مَحصُوراً فيها إذا كان طُوله أَقلَّ أَو مُساوٍ لِثمانية بتاتٍ، أَو قد يَمتدُّ على الخانتين ذَوَاتي المَرتبتين 3 و4 إذا كان طُوله أَكبرَ مِن 8 بتاتٍ (الشَّكل (4-5)).

يَختلِف طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ بمُقتضَى مُتطلَّبات التَّجزِئة: حدُّه الأَدنَى بتٌ واحِدٌ، ويَعنِي ذلك تجزِئة فضاء العناوين الأَصل إلى فضاءَين جُزئيَّين فقط، أَمَّا حدُّه الأَعلى فهُو 14 بتاً، ويَعنِي ذلك تجزِئة الفضاء الأَصيل إلى 2^{14}=16384 فضاءً جُزئيّاً في كُلٍّ مِنها 4 عناوينَ، يَصلُح اثنان مِنها فقط لِعنونة المُضيفِين (الجدول (4-5)). ضِمن الحُدُود السَّابِقة، تُوجَد حالةٌ مُميَّزةٌ تَحصُل عندما يَكُون طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ 8 بتاتٍ، ويَكُون طُول مُعرِّف المُضيف عندها 8 بتاتٍ أَيضاً، ويَعنِي ذلك أَن التَّجزِئة ستُنتِج أَفضية عناوينَ جُزئيَّةٍ في كُلٍّ مِنها 2^{8}=256 عُنواناً، وهي أَفضيةٌ مُكافِئةٌ حَجماً لِأَفضية الصَنف C القِياسيِّ.

مع إمكانيَّة تغيير طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ لِيَأخذ قِيمةً مِن مَجمُوعة الأَعداد الصَّحيحة {1، 2، 3، ... 14}، يُمكِن تمييز الحالات التَّالِية:

- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ هُو بتٌ واحِدٌ على الأَقلِّ وهُو أَصغرُ تماماً مِن 8 بتاتٍ.
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يُساوِي 8 بتاتٍ.
- طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أكبرُ مِن 9 بتاتٍ أَو مُساوٍ لها وأَصغرُ مِن 14 بتاً أَو مُساوٍ لها.



الشَّكل (4-5): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترِنت في الحالات النَّاتِجة عن تجزِئة فضاء عناوينَ قِياسيٍّ مِن الصَّنف B

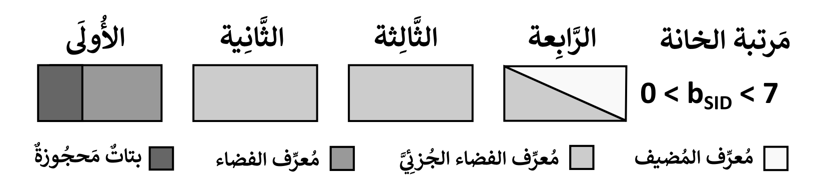
الجدول (4-5): الحالات الرِّياضيَّة المُمكِنة عند تجزِئة فضاء عناوين قِياسيٍّ مِن الصَّنف B

طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ (بتٌّ)	طُول مُعرِّف المُضيف (بتٌّ)	عَدَد أَفضية العناوين الجُزئِيَّة (فضاء)	حَجم فضاء العناوين (عُنوانٌ)	قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة	
				التَّدوين العَشرِيُّ المُنقَّط	تدوين البادِئة
1	15	2	2^{15}	/17	255.255.128.0
2	14	4	2^{14}	/18	255.255.192.0
3	13	8	8192	/19	255.255.224.0
4	12	16	4096	/20	255.255.240.0
5	11	32	2048	/21	255.255.248.0
6	10	64	1024	/22	255.255.252.0
7	9	128	512	/23	255.255.254.0
8	8	256	256	/24	255.255.255.0
9	7	512	128	/25	255.255.255.128
10	6	1024	64	/26	255.255.255.192
11	5	2048	32	/27	255.255.255.224
12	4	4096	16	/28	255.255.255.240
13	3	8192	8	/29	255.255.255.248
14	2	2^{14}	4	/30	255.255.255.252
15	1	2^{15}	2	/31	255.255.255.254
16	0	2^{16}	1	/32	255.255.255.255

الصَّنف C

يَكُون طُول مُعرِّف الفضاء 21 بتاً فيه بالإضافة لِوجُود 3 بتاتٍ مَحجُوزةٍ، ويَكُون طُول مُعرِّف المُضيف هُو 8 بتاتٍ ويَمتَدُّ على الخانة ذات المَرتَبة 4. عند اقتطاع مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مِن مُعرِّف المُضيف، فإنَّه يَنمُو ابتداءً مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّةً في الخانة ذات المَرتَبة 4، ويَظلُّ مَحصُوراً فيها (الشَّكل (4-6)). يَكُون حدُّ مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ الأَدنَى هُو بتٌ واحِدٌ، ويَعنِي ذلك تجزِئة فضاء العناوين الأَصيل إلى فضاءَين جُزئِيَّين فقط، أَمَّا حَدُّه الأَعلَى فهُو 6 بتاتٍ، ويَعنِي ذلك تجزِئة الفضاء

الأَصيل إلى 2^6=64 فضاءً جُزئيّاً في كُلٍّ مِنها أربعة عناوين، يَصلُح اثنانٌ مِنها فقط لِعنونة المُضيفِين، ويُظهِر الجدول (4-6) هذه الحالات.



الشَّكل (4-6): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت في الحالات النَّاتِجة عن تجزِئة فضاء عناوينَ قياسيٍّ مِن الصَّنف C

يُمكِن نظريّاً اختيار مُعرِّف فضاءٍ جُزئِيٍّ بطُول 7 أو 8 بتاتٍ. في الحالة الأُولى، يَنتُج عن التَّجزِئة أَفضية عناوينَ جُزئِيَّةٍ تَحتوِي عُنوانين فقط، هُما عُنوان الفضاء وعُنوان البثِّ العامِّ، ولا يَبقَى أيُّ عُنوانٍ آخرَ مُتاحٍ لِعنونة المُضيفِين. أمَّا في الحالة الثَّانِية، فإنَّ أَفضِية العنونة النَّاتِجة لا تَحتوِي إلا عُنواناً واحِداً فقط هو عُنوان الفضاء، أي لا يُمكِن عنونة المُضيفِين أيضاً. لِذلك، تُستثنَى القيمتان السَّابِقتان، ويَتغيَّر طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ ضمن مَجمُوعة الأَعداد الصَّحيحة {1، 2، 3، 4، 5، 6}.

الجدول (4-6): الحالات الرِّياضِيَّة المُمكِنة عند تجزِئة فضاء عناوين قِياسيٍّ مِن الصَّنف C

طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ (بتٌ)	طُول مُعرِّف المُضيف (بتٌ)	عَدَد أَفضية العناوين الجُزئيَّة (فضاء)	حَجم فضاء العناوين (عُنوانٌ)	قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة	
				التَّدوين العَشريُّ المُنقَّط	تدوين البادِئة
1	7	2	128	/25	255.255.255.128
2	6	4	64	/26	255.255.255.192
3	5	8	32	/27	255.255.255.224
4	4	16	16	/28	255.255.255.240
5	3	32	8	/29	255.255.255.248
6	2	64	4	/30	255.255.255.252
7	1	128	2	/31	255.255.255.254
8	0	256	1	/32	255.255.255.255

تجزِئة فضاءٍ غير صِنفيٍّ

هي تقسيم فضاء عناوينَ أَصيل غير صِنفيٍّ إلى فضاءَي عناوينَ أو أكثرَ أَصغرَ حَجماً مِنه. تَعتمِد هذه التَّجزِئة على العنونة غير الصَّنفيَّة وفيها لا أَصنافَ قياسيَّةً ولا أَقنعةَ أفضية قياسيَّةً ولا طُولَ ثابِتاً لِمُعرِّف الفضاء، بل يُحصَّص فضاء العناوين الأَصيل وَفقاً لِلحاجة، ويُمكِن أن يَبدَأ مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ في أيِّ مَوقِعٍ في العُنوان. تَعرِض الجهات النَّاظِمة لِعمليَّة التَّحصيص، نحو هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصَة أو سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة، بادِئاتٍ ذَوَات أَطوالٍ مُختلِفةٍ على العُملاء، وتَصِفُ هذه البادِئات أَفضية عناوينَ ذَوَات أَحَجامٍ مُتنوِّعةٍ، ويَختار العُملاء حَجم فضاء العناوين وَفقاً لِحاجتهم.

يُمكِن لِلعُملاء بعد ذلك تجزِئة فضاء العناوين المُخصَّص لهم لِإنتاج أَفضية عناوينَ جُزئِيَّةٍ أَصغرَ تُناسِب ما يَحتاجونه، ويُحدِّد العميل عندها طُول مُعرِّف المُضيف وطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ بناءً على عَدَد عناوين المُضيفِين المَرغُوب في كُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ أو على عَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة الإجماليِّ أو على الاثنين معاً.[218]

[218] انظر ما جاء في ص. 29-33 في [ART22] في ثَبت المَراجِع.

يُجزَّأ فضاء العناوين غير الصِّنفيّ تجزِئةً مُشابهةً لِتجزِئة الفضاء الصِّنفيّ، فالاختلاف الأَساس بين الاثنين هُو في بِنية العناوين وآليَّة مَنحها لا في آليَّة التَّجزِئة نفسِها.

آليَّة التَّجزِئة

تَتَكوَّن عمليَّة تجزِئة فضاء العناوين، سواء كانت العنونة صَنفيَّة أَو غير صَنفيَّة، مِن مَرحلتين:

1. تحديد بِنية عُنوان الأَفضية الجُزئيّة النَّاتِجة، ويَعني ذلك تحديد طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ وطُول مُعرِّف المُضيف بمُقتضَى الحاجة الَّتي دَعت إِلى إنجاز التَّجزِئة.
2. توليد عناوين الأَفضية الجُزِئيَّة النَّاتِجة عن البِنية المُحدَّدة بالخَطوة الأُولى.

لِتجزِئة الفضاء القِياسيّ يُحدَّد صَنف العُنوان أَوَّلاً ومِنه يُعرَف طُول مُعرِّف الفضاء والمَوقِع الَّذي يَبدَأ مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مِنه، ثُمَّ يُحدَّد طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ ومُعرِّف المُضيف وَفقاً لِمُتطلَّبات التَّجزِئة. أَمَّا لِتجزِئة الفضاء غير القِياسيّ، فيُحدَّد طُول البادِئة أَولاً لِمعرفة المَوقِع الَّذي يَبدَأ مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مِنه، ثُمَّ يُحسَب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ وطُول مُعرِّف المُضيف تَبعاً لِمُتطلَّبات التَّجزِئة.

تَجرِي العمليَّات الخاصَّة بالتَّجزِئة وَفقاً لِنِظام العدِّ الثُّنائِيّ، ثُمَّ تُنقَل عناوين الأَفضية الجُزِئيَّة النَّاتِجة إِلى الصِّيغ المُناسِبة.

تَخضَع عمليَّة التَّجزِئة في الحالات كُلِّها لِلقواعِد التَّالِية:

- العَلاقة بين عَدَد الأَفضية الجُزِئيَّة N_{sbnt} وطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ b_{SID}، مُقدَّراً بالبت، هي:[219]

$$N_{sbnt} = 2^{b_{SID}} \quad (3\text{-}4)$$

فمثلاً، إذا كان طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ هُو 4 بتاتٍ، فإِنَّ عَدَد الأَفضية الجُزِئيَّة النَّاتِجة سيَكُون 2^4=16 فضاءً. أَمَّا إِذا كان عَدَد الأَفضية الجُزِئيَّة هُو 25، فإِنَّ طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ المُناسِب سيَكُون 5 بتاتٍ.[220]

---

[219] الأَصل في حِساب عَدَد الأَفضية هُو طَرح 2 مِن عَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة الإِجماليّ، ويَعود السَّبب في ذلك إِلى الفترة الَّتي استُخدِمت فيها برُوتُوكُولات التَّوجيه الصَّنفيَّة، أَي تلك الَّتي لا تُعلِن عن أَقنعة الأَفضية في رسائِل التَّحديث، بل تَعتمِد على صَنف العُنوان لِتحديد قِناعه، ولم يَكُن بالإِمكان حينها التَّمييز بين الفضاء الصِّنفيّ وأَي فضاءٍ آخرَ غير صِنفيٍّ يَتوافَق معه في بِنية العُنوان ولكنَّه يَختلِف عنه بالقِناع، مثلاً 192.168.1.0/24 و192.168.1.0/26. بالإِضافة لما سَبق، فإِنَّ الفضاء الجُزئِيَّ الأَخير الَّذي نتُج عن التَّجزئَة يَملِك عُنوان بثٍّ عامٍّ يُشابِه في بِنيته عُنوان البثِّ العامِّ لِلفضاء الأَصيل. لِذلك كان هذان الفضاءَان يُستثنَيان دائِماً مِن الاستعمال بَعد عمليات التَّجزئَة. يَحلُّ استعمال برُوتُوكُولات توجيه غير صَنفيَّة، تُعلِن عن الأَقنعة، هذه المُشكِلة.

[220] يُستخدَم اللُّوغاريتم ذو الأَساس الثُّنائِيّ لإِنجاز الحِساب، أَي $\log_2(25) = 4.64$، ثُمَّ يُقرَّب النَّاتِج إِلى العَدَد الصَّحيح التَّالِي فيُصبِح 5.

- العَلاقة (4-4) تَربُط بين عَدَد العناوين في الفضاء الجُزئِيِّ N_{adrs} وطُول مُعرِّف المُضيف الجديد البالِغ b'_{HID} بتاً:

$$N_{adrs} = 2^{b'_{HID}} \quad (4\text{-}4)$$

فمثلاً، إذا كان طُول مُعرِّف المُضيف هُو 7 بتاتٍ، فإِنَّ فضاء العناوين النَّاتِج عن التَّجزِئة سيَضمُّ: 2^7=128 عُنواناً. أَمَّا إذا كان عَدَد العناوين المَرغُوبة في الفضاء هُو 50، فإِنَّ طُول مُعرِّف المُضيف المُناسِب سيَكُون 6 بتاتٍ.

- عَدَد العناوين الَّتي تَصلُح لِعنونة المُضيفِين ضِمن فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت $N_{address_{IPv4}}$ هُو:

$$N_{adrs_{IPv4}} = N_{adrs} - 2 \quad (5\text{-}4)$$

والعُنوانان المَطرُوحان هُما عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ وعُنوان البثِّ العامِّ، وهُما العُنوان الأَصغر في الفضاء وأَكبرها على التَّرتيب، ولا يُستعمَل هذان العُنوانان لِعنونة المُضيفِين كما تَقدَّم.

طُول قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ. لِكِتابة قِناع الفضاء الجُزئِيِّ، تُضبَط مَجمُوعةٌ مِن بتات القِناع إلى القِيمة 1 بدءَاً مِن الخانة الأَكثر أَهمِّيَّةً، ويَكُون عَدَد البِتات المَضبُوطة مُساوٍ لِطُول القِناع، ثُمَّ تُملَأ سائِر الخانات بالأَصفار، ويُحوَّل العُنوان إلى الصِّيغة المُناسِبة.

يُمكِن بعد ذلك إجراء الحِسابات التَّالِية لكُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ إجراءً مُنفصِلاً:

- يُضبَط مُعرِّف المُضيف في العُنوان إلى القِيمة الصِّفريَّة لِحساب عُنوان فضاءٍ جُزئِيٍّ، أَي تُضبَط بتاته كُلُّها إلى القِيمة صِفر، ثُمَّ يُحوَّل العُنوان إلى الصِّيغة المُناسِبة.
- يُضبَط مُعرِّف المُضيف في العُنوان إلى القِيمة الواحِدية لِحساب عُنوان البثِّ العامِّ، أَي تُضبَط بتاته كُلُّها إلى القِيمة 1، ثُمَّ يُحوَّل العُنوان إلى الصِّيغة المُناسِبة.
- أَصغرُ عُنوانٍ مُتاحٍ لِعنونة المُضيفِين هُو العُنوان التَّالِي لِلعُنوان الأَصغر في الفضاء.
- أَكبرُ عُنوانٍ مُتاحٍ لِعنونة المُضيفِين هُو العُنوان السَّابِق لِلعُنوان الأَكبر في الفضاء.
- مَجال عناوين المُضيفِين هُو مَجمُوعة العناوين المَحصُورة بين العُنوان الأَصغر المُتاح لِعنونة المُضيفِين وأَكبرها.

تُنفَّذ عمليَّة تجزِئة فضاء العناوين استجابةً لِمُتطلَّباتٍ مُرتبِطةٍ بالعنونة، ويُمكِن تلخيصها بما يَلي:

- الحاجة لِعَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة.
- الحاجة لِحَجمٍ مُحدَّدٍ لِفضاء العناوين الجُزئِيِّ، أَي الحاجة لِعَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن العناوين داخِل الفضاء.
- الحاجة لِعَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة الَّتي يَكُون لها حَجمٌ مُحدَّدٌ.
- الحاجة لِطُولٍ مُحدَّدٍ لِقِناع الفضاء الجُزئِيِّ.

التَّجزِئة مِن أَجل عَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن أَفضية العناوين الجُزئِيَّة

فِي هذه الحالة، يَكُون عَدَد أَفضية العناوين الجُزئيَّة المَطلُوبة مَعلُوماً، ولِيَكُن N_{spc}. إذا كانت العنونة صَنفيَّة، فإِنَّ صَنف العُنوان يَكُون مَعلُوماً، أَمَّا إذا كانت العنونة غير صَنفيَّة، فإِنَّ طُول البادِئة هُو الَّذي يَكُون مَعلُوماً، ولِيكُن b_{prfx} بتاً. أَمَّا طُول عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت فهُو 32 بتاً، وسيُرمَز له في ما سيَأتي باستعمال الاسم الرَّمزيّ b_{IPv4}.

خوارزميَّة العمل

انطلاقاً مِن الفَرَض، لِحِساب سائِر مُحدِّدات التَّجزِئة، تُتَّبع الخَطوات التَّالِية:

1. حِساب مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ و طُول مُعرِّف المُضيف b_{SHID} مِن خلال ما يَلي:

a. إذا كانت العنونة صَنفيَّة، يُحدَّد عَدَد البِتات المَحجُوزة b_r وطُول مُعرِّف الفضاء b_{NID} تَبعَاً لِصَنف العُنوان، ولحِساب مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ وطُول مُعرِّف المُضيف تُستعمَل العَلاقة (4-6):

$$b_{SHID} = b_{IPv4} - (b_r + b_{NID}) \quad (6\text{-}4)$$

b. إذا كانت العنونة غير صَنفيَّة، تُستعمَل العَلاقة (4-7):

$$b_{SHID} = b_{IPv4} - b_{prefix} \quad (7\text{-}4)$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ $b_{SID_{min}}$ اعتماداً على عَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة المَطلُوبة وَفقاً لِلعَلاقة:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(N_{Spc}) \rceil \quad (8\text{-}4)$$

3. تحديد الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف $b_{HID_{min}}$، وهُو بتان اثنان مِن أَجل الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت،[221] ثُمَّ حِساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ $b_{SID_{max}}$ تَبعَاً لِلعَلاقة (4-9):

$$b_{SID_{max}} = b_{SHID} - b_{HID_{min}} \quad (9\text{-}4)$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ، تَكُون أَكبرَ مِن الطُّول الأَدنَى لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ أَو مُساوِيةً له وأَصغرَ مِن طُوله الأَقصَى أَو مُساوِيةً له، أَي:

---

[221] نظريَّاً، مِن المُمكِن اختيار طُول مُعرِّف المُضيف في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِيَكُون مُساوياً لِلقِيمة 1، وسيَنتُج عن ذلك أَفضيةٌ جُزئيَّةٌ تَحتوي $2^1 = 2$ عُنواناً فقط، يَكُون أَحدهما هُو عُنوان الفضاء والآخر هُو عُنوان البثِّ العامّ، ولا يَبقَى أَيُّ عُنوانٍ مُتاحٍ لِعنونة المُضيفِين. لِذلك، وعند تجزِئة فضاء عناوينَ مِن الإصدار الرَّابِع يَلزَم التَّمييز بين عَدَد العناوين الإجماليّ في الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج، وعَدَد العناوين المُتاحة لِلمُضيفِين في الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج، وهُو أَقلُّ بعُنوانين مِن عَدَد العناوين الإجماليّ.

$$b_{SID_{min}} \leq b_{SID} \leq b_{SID_{max}} \qquad (10\text{-}4)$$

أيُّ قِيمةٍ صحيحةٍ تُحقِّق المُتراجِحة السَّابِقة ستُنتِج عَمليَّة تجزِئةٍ مُتوافِقةٍ مع الفَرَض.

5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف وَفقاً لِلعَلاقة (4-11):

$$b_{HID} = b_{SHID} - b_{SID} \qquad (11\text{-}4)$$

6. كِتابة الأَعداد الثُّنائِيَّة بدءَاً مِن الصِّفر وحتَّى القِيمة الكُبرَى يَسمَح بها طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، والَّتي تُحسَب بالعَلاقة: $2^{b_{SID}}$، ويَكُون عَدَد البِتات في القِيم كُلِّها هُو b_{SID} بتاً.

7. تشكيل عناوين الأَفضية الجُزئيّة، وعَدَدها N_{spc} عُنواناً، بتكرار الخَطوات التَّالِية:

   a. ضمُّ إحدَى القِيم الثُّنائِيّة المَحسُوبة في الخَطوة السَّادِسة إلى طَرف مُعرِّف الفضاء الأَقلِّ أَهمِّيَّةً، وتشكيل بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ.

   b. تشكيل مُعرِّف مُضيفٍ، وضَبطه إلى القِيمة الصِّفريَّة، أَي جَعل بتاته كُلِّها أَصفاراً.

   c. ضمُّ مُعرِّف المُضيف إلى طَرف بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ الأَقلِّ أَهمِّيَّةً.

   d. نقل العُنوان إلى نِظام العدِّ المُناسِب.

8. حِساب قِناع التَّجزِئة لِلأَفضية الجُزئِيّة كُلِّها:

   a. لِلعنونة الصَّنفيَّة: يُحسَب عَدَد البتات ذَوَات القِيمة الواحِدية فيه b_{msk} وَفقاً لِلعَلاقة (4-12):

$$b_{msk} = b_r + b_{NID} + b_{SID} \qquad (12\text{-}4)$$

   ثُمَّ تُضبَط سائِر البتات إلى القِيمة الصِّفريَّة.

   b. لِلعنونة غير الصَّنفيَّة، يُحسَب عَدَد البِتات ذَوَات القِيمة الواحِدية وَفقاً لِلعَلاقة (4-13):

$$b_{msk} = b_{prfx} + b_{SID} \qquad (13\text{-}4)$$

   ثُمَّ تُضبَط سائِر البتات إلى القِيمة الصِّفريَّة.

المِثال الأَوَّل

المَطلُوب تجزِئة الفضاء القِياسيِّ 150.150.0.0 إلى 6 أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ.

1. العنونة صَنفيَّة والقِناع القِياسيُّ لِأَفضية الصَّنف B هُو 16/ وعَدَد البِتات المَحجُوزة $b_r = 2$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 14$. يَكُون مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-6):

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-8):

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(6) \rceil = \lceil 2.58 \rceil = 3$$

3. حِساب الطُّول الأَقصَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، مُقدَّراً بالبت، مع ضَبط قِيمة الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف إلى القِيمة 2، وَفقاً لِلعَلاقة (4-9):

$$b_{SID_{max}} = 16 - 2 = 14$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ تُحقِّق المُتراجِحة (4-10) أي: $3 \leq b_{SID} \leq 14$، اُختِيرت القِيمة الدُّنيا وهي $b_{SID} = 3$.
5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-11):

$$b_{HID} = 16 - 3 = 13$$

ويُبيِّن الشَّكل (4-7) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	**13**	**3**	**14**	**2**
	مُعرِّف المُضيف		**مُعرِّف الفضاء**	
		مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ		**بتاتٌ مَحجُوزةٌ**

الشَّكل (4-7): بِنية عُنوان الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النّاتِج في المِثال الأَوّل في الفصل الرّابِع

6. عَدَد مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيّة هُو $2^3 = 8$، وهي مُبيَّنةٌ بالجدول (4-7).

الجدول (4-7): مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيّة في المِثال الأَوّل في الفصل الرّابِع

رَقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رَقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

7. تشكيل عناوين الأَفضية الجُزئِيّة تَبعاً لِلجدول (4-8)، وفيه وُضِعت مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيّة بالخطّ الغليظ.

الجدول (4-8): عناوين الأَفضية الجُزئِيّة في المِثال الأول في الفصل الرّابِع

قِيمة الخانة الرّابِعة	قِيمة الخانة الثّالِثة	قِيمة الخانة الثّانِية	قِيمة الخانة الأُولَى	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ
(بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ)		(بنِظام العدِّ العَشرِيِّ)		
0000 0000	**000**0 0000	150	150	150.150.0.0
	0010 0000			150.150.32.0
	0100 0000			150.150.64.0
	0110 0000			150.150.96.0
	1000 0000			150.150.128.0
	1010 0000			150.150.160.0
	1100 0000			150.150.192.0
	1110 0000			150.150.224.0

8. حِساب عَدَد الوِحدان في قِناع التَّجزِئة وَفقاً لِلعَلاقة (4-12):

$$b_{msk} = 2 + 14 + 3 = 19$$

أي أَنَّ قِناع الأفضية الجُزئيَّة هُو 19/ أو 255.255.224.0.

يُمكِن أَيضاً حِساب العُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين والعُنوان الأَخير الصَّالِح وعُنوان البثِّ العامِّ لِكُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ، ويُبيِّن الجدول (4-9) هذه الحِسابات.

الجدول (4-9): حِسابات العُنوان الأَوَّل الصَّالِح والعُنوان الأَخير الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين وعُنوان البثِّ العامَّ لِلأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الأَوَّل في الفصل الرَّابِع

عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	العُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	العُنوان الأَخير الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	عُنوان البثِّ العامِّ
150.150.0.0	150.150.0.1	150.150.31.254	150.150.31.255
150.150.32.0	150.150.32.1	150.150.63.254	150.150.63.255
150.150.64.0	150.150.64.1	150.150.95.254	150.150.95.255
150.150.96.0	150.150.96.1	150.150.127.254	150.150.127.255
150.150.128.0	150.150.128.1	150.10.159.254	150.10.159.255
150.150.160.0	150.10.160.1	150.150.191.254	150.150.191.255
150.150.192.0	150.150.192.1	150.150.223.254	150.150.223.255
150.150.224.0	150.150.224.1	150.150.255.254	150.150.255.255

التَّجزِئة مِن أَجل حَجمٍ مُحدَّدٍ لفضاء العنونة الجُزئيَّة

في هذه الحالة، يَكُون حَجم فضاء العناوين الجُزئِيِّ المَطلُوب مَعلُوماً، ولِيكُن N_{adrs} عُنواناً.

خوارزميَّة التَّجزِئة

انطلاقاً مِن الفَرض، تُتَّبَع الخَطوات التَّالِية لحِساب سائِر مُحدِّدات التَّجزِئة:

1. حِساب مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ ومُعرِّف المُضيف b_{SHID} وَفقاً لِلعَلاقتين (4-6) و(4-7).
2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف $b_{HID_{min}}$ اعتماداً على حَجم الفضاء الجُزئِيِّ المَطلُوب، وَفقاً لِلعَلاقة (4-14):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(N_{adrs} + 2) \rceil \qquad (14\text{-}4)$$

أُضيف عُنوانان إِلى عَدَد عناوين المُضيفِين المَطلُوب، وهُما عُنوان الفضاء وعُنوان البثِّ العامِّ، وذُكِر سبب ذلك في ما سَبق.

3. تحديد الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ $b_{SID_{min}}$، وهُو بتٌّ واحِدٌ مِن أَجل الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت، ويَعنِي ذلك تجزِئة الفضاء الكُلِّي إِلى 2^1=2 فضاءً فقط. ثُمَّ حِساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف المُضيف وَفقاً لِلعَلاقة (4-15):

$$b_{HID_{max}} = b_{SHID} - b_{SID_{min}} \quad (15\text{-}4)$$

4. اختيار قيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف المُضيف تَكُون أكبرَ من الطُّول الأدنَى لِمُعرِّف المُضيف أو مُساويةً له وأصغرَ من الطُّول الأقصَى أو مُساوِيةً له، أي:

$$b_{HID_{min}} \leq b_{HID} \leq b_{HID_{max}} \quad (16\text{-}4)$$

5. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وَفقاً لِلعَلاقة (4-17):

$$b_{SID} = b_{SHID} - b_{HID} \quad (17\text{-}4)$$

6. كِتابة الأعداد الثُّنائيَّة بدءاً مِن الصِّفر وحتَّى القِيمة الكُبرَى الَّتي يَسمَح بها طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، والَّتي تُحسَب بالعَلاقة: $2^{b_{SID}}$، ويَكُون عَدَد البِتات في كُلٍّ مِنها b_{SID} بِتاً.
7. تشكيل عناوين الأفضية الجُزئيَّة، وعَدَدها $2^{b_{SID}}$ عُنواناً، بتكرار الخَطوات التَّالية:
   a. ضمُّ إحدى القِيم الثُّنائِيّة المَحسُوبة في الخَطوة السَّادِسة إلى طَرف مُعرِّف الفضاء الأقلِّ أهمِّيَّةً، وتشكيل بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ.
   b. تشكيل مُعرِّف مُضيفٍ، وضَبطه إلى القِيمة الصِّفريَّة، أي جَعل بتاته كُلِّها أصفاراً.
   c. ضمُّ مُعرِّف المُضيف إلى طَرف بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ الأقلِّ أهمِّيَّةً.
   d. نقلُ العُنوان إلى نِظام العدِّ المُناسِب.
8. حِساب قِناع التجزِئة:
   a. مِن أجل العنونة الصَّنفيَّة، تُستعمَل العَلاقة (4-12) وما يَليها.
   b. مِن أجل العنونة غير الصَّنفيَّة تُستعمَل العَلاقة (4-13) وما يَليها.

المِثال الثَّاني

المَطلُوب تجزِئة الفضاء القِياسيّ 200.100.10.0 إلى عَدَدٍ مِن الأفضيةِ الجُزئيَّةٍ في كُلٍّ مِنها 50 عُنواناً.

1. العنونة صَنفيَّة والقِناع القِياسيُّ لِأفضية الصَّنف C هُو 24/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 3$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 21$. يَكُون مَجموع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-6) هُو:

$$b_{SHID} = 32 - (3 + 21) = 8$$

2. حِساب الطُّول الأدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت وَفقاً لِلعَلاقة (4-14):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

3. حِساب الطُّول الأقصَى المُتاح لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبِت، مع ضَبط قِيمة الطُّول الأدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ إلى القِيمة 1، وَفقاً لِلعَلاقة (4-15):

$$b_{HID_{max}} = 8 - 1 = 7$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسبةٍ لِطُول مُعرّف المُضيف تُحقّق المُتراجِحة (4-16) أي: $7 \leq b_{HID} \leq 6$ ، واُختِيرت القِيمة الدُّنيَا وهي $b_{HID} = 6$.
5. حِساب طُول مُعرّف الفضاء الجُزئِيّ، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-17):

$$b_{SID} = 8 - 6 = 2$$

ويُبيّن الشّكل (4-8) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيّ النّاتِج.

عَدَد البتات	6	2	21	3
	مُعرّف المُضيف		**مُعرّف الفضاء**	
	مُعرّف الفضاء الجُزئِيّ			**بتاتٌ مَحجُوزةٌ**

الشّكل (4-8): بِنية عُنوان الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النّاتِج في المِثال الثّانِي في الفصل الرّابِع

6. عَدَد مُعرّفات الأَفضية الجُزئِيّة هُو $2^2 = 4$، وهي مُبيَّنة بالجدول (4-10).

الجدول (4-10): مُعرّفات الأَفضية الجُزئِيّة في المِثال الثّانِي في الفصل الرّابِع

رَقم المُعرّف	قِيمة المُعرّف
1	00
2	01
3	10
4	11

7. تشكيل عناوين الأَفضية الجُزئِيّة تَبعاً لِلجدول (4-11)، وفيه وُضِعت مُعرّفات الأَفضية الجُزئِيّة بالخطّ الغليظ في الخانة الرّابِعة.

الجدول (4-11): عناوين الأَفضية الجُزئِيّة في المِثال الثّانِي في الفصل الرّابِع

قِيمة الخانة الرّابِعة (بنِظام العدّ الثُّنائِيّ)	قيمة الخانة الثّالِثة	قيمة الخانة الثّانِية	قيمة الخانة الأُولَى	عُنوان الفضاء الجُزئِيّ
	(بنِظام العدّ العَشرِيّ)			
0000 0000	10	100	200	200.100.10.0
0100 0000				200.100.10.64
1000 0000				200.100.10.128
1100 0000				200.100.10.192

8. حِساب عَدَد الوِحدان في قِناع التّجزِئة وَفقاً لِلعَلاقة (4-11):

$$b_{mask} = 3 + 21 + 2 = 26$$

أي أنّ قِناع الأَفضية الجُزئِيّة هُو 26/ أو 255.255.255.192.

يُمكِن أَيضاً حِساب العُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين والعُنوان الأَخير الصَّالِح وعُنوان البثِّ العامِّ لِكُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ، ويُبيُِّن الجدول (4-12) هذه الحِسابات.

الجدول (4-12): حِسابات أَوَّل عُنوانٍ وآخر عُنوانٍ صالِحين لِعنونة المُضيفِين وعُنوان البثِّ العامِّ لِلأفضية الجُزئيَّة في المِثال الثَّاني في الفصل الرَّابع

عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	العُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	العُنوان الأَخير الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	عُنوان البثِّ العامِّ
200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.62	200.100.10.63
200.100.10.64	200.100.10.65	200.100.10.126	200.100.10.127
200.100.10.128	200.100.10.129	200.100.10.190	200.100.10.191
200.100.10.192	200.100.10.193	200.100.10.254	200.100.10.255

التَّجزئة مِن أَجل عَدَد مُحدَّدٍ مِن أَفضية العناوين الجُزئِيَّة مُحدَّدة الحجم

يَكُون حَجم فضاء العناوين الجُزئِيِّ المَطلُوب، ولِيكُن N_{adrs} عُنواناً، وعَدَد أَفضية العنونة المَطلُوبة، ولِيكُن N_{space} فضاءً، مَعلُومين في هذه الحالة.

انطلاقاً مِن الفَرض، لِحِساب سائِر مُحدِّدات التَّجزِئة، تُتَّبَع الخَطوات التَّالِية:

1. حِساب مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّف المُضيف b_{SHID} وَفقاً لِلعَلاقتين (4-6) و(4-7).
2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ اعتماداً على عَدَد الأَفضية المَطلُوب، وَفقاً لِلعَلاقة (4-8).
3. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف اعتماداً على حَجم الأَفضية المَطلُوب، تَبعاً لِلعَلاقة (4-14).
4. تحديد الطُّول الأَقصَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، تَبعاً للعَلاقة (4-9).
5. فحص الشَّرط:

$$b_{SID_{max}} \geq b_{SID_{min}} \qquad (4\text{-}18)$$

فإذا لم يَكُن مُحقَّقاً، فإنَّ عمليَّة التَّجزِئة غير مُمكِنةٍ رياضيَّاً.

6. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُتوافِقةٍ مع العَلاقة (4-10).
7. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف وَفقاً لِلعَلاقة (4-11).
8. كِتابة الأَعداد الثُّنائِيَّة بدءاً مِن الصِّفر وحتَّى القِيمة الكبرَى التي يَسمُح بها طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، المَحسُوبة بالعَلاقة: $2^{b_{SID}}$، ويَكُون عَدَد البِتات في القِيم كُلِّها هُو b_{SID} بتاً.
9. تشكيل عناوين الأَفضية الجُزئِيَّة، وعَدَدها N_{spc} عُنواناً، بتكرار الخَطوات التَّالِية:
   a. ضمُّ إِحدى القِيم الثُّنائِيَّة المَحسُوبة في الخَطوة الثَّامِنة إِلى طَرف مُعرِّف الفضاء الأَقلِّ أَهمِّيَّةً، وتشكيل بادئِة الفضاء الجُزئِيِّ.
   b. تشكيل مُعرِّف مُضيفٍ، وضَبطه إِلى القِيمة الصِّفريَّة، أَي جَعل بتاته كُلِّها أَصفاراً.
   c. ضمُّ مُعرِّف المُضيف إِلى طَرف بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ الأَقلِّ أَهمِّيَّةً.
   d. نقل العُنوان إِلى نِظام العدِّ المُناسِب.

10. حِساب قِناع التَّجزِئة ويَكُون طُوله مُساوِياً لِطُول بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ، أي أنَّه يَحتوِي عَدَداً مِن الوِحدان يُساوِي مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء وطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ. تَشغل الوِحدان عَدَداً مِن البِتات المُتتابِعة في القِناع بدءاً مِن المَرتَبة الأكثر أهمِّيَّةً فيه وبطُولٍ مُساوٍ لِقِيمته العَدَديَّة في تمثيل البادِئة، وتَكُون قِيمة سائِر البِتات في القِناع صِفريَّةً.

المِثال الثَّالِث

المَطلُوب تجزِئة الفضاء القِياسيُّ 10.0.0.0 إلى 100 فضاءٍ على الأقلِّ في كُلٍّ مِنها 1000 عُنوانٍ على الأقلّ.

1. العنونة صَنفيَّة والقِناع القِياسيُّ لِأفضية الصَّنف A هُو 8/، وعَدَد البِتات المَحجُوزة $b_r = 1$، وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 7$. يَكُون مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّفِ المُضيف، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-6):

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حِساب الطُّول الأدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وَفقاً لِلعَلاقة (4-8):

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(100) \rceil = \lceil 6.64 \rceil = 7$$

3. حِساب الطُّول الأدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-14):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(1000 + 2) \rceil = \lceil 9.96 \rceil = 10$$

4. تحديد الطُّول الأقصَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، مُقدَّراً بالبِت، تَبعاً لِلعَلاقة (4-9):

$$b_{SID_{max}} = 24 - 10 = 14$$

5. فحص الشَّرط المُحدَّد بالعَلاقة (4-18):

$$14 \geq 10$$

الشَّرط مُحقَّقٌ، وهذه التَّجزِئة مُمكِنةٌ.

6. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُتوافِقةٍ مع المُتراجِحة المُحدَّدة بالعَلاقة (4-9): $7 \leq b_{SID} \leq 14$، واُختِيرت القِيمة $b_{SID} = 10$.

7. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف تَبعَاً لِلعَلاقة (4-10):

$$b_{HID} = 24 - 10 = 14$$

ويُبيِّن الشَّكل (4-9) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

8. عَدَد مُعرِّفات الأفضية الجُزئِيَّة هُو $2^{10} = 1024$ وبعضها مُبيَّن بالجدول (4-13).

9. تشكيل عناوين الأفضية الجُزئيَّة وَفقاً لِلجدول (4-14)، وفيه وُضِعت مُعرِّفات الأفضية الجُزئِيَّة بالخطِّ الغليظ في الخانة الثَّانِية والثَّالِثة.

الجدول (4-13): مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الثَّالِث في الفصل الرَّابِع

رَقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رَقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	0000 0000 00	1020	1111 1110 11
2	0000 0000 01	1021	1111 1111 00
3	0000 0000 10	1022	1111 1111 01
4	0000 0000 11	1023	1111 1111 10
5	0000 0001 00	1024	1111 1111 11

الجدول (4-14): عناوين الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الثَّالِث في الفصل الرَّابِع

قِيمة الخانة الرَّابِعة	قِيمة الخانة الثَّالِثة	قِيمة الخانة الثَّانِية	قِيمة الخانة الأُولَى	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ
(بنِظام العدِّ العَشريِّ)	(بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ)		(بنِظام العدِّ العَشريِّ)	
0	**00**00 0000	**0000 0000**	10	10.0.0.0
	0100 0000	**0000 0000**		10.0.64.0
	1000 0000	**0000 0000**		10.0.128.0
	1100 0000	**0000 0000**		10.0.192.0
	0000 0000	**0000 0001**		10.0.1.0
	⋮	⋮		⋮
	1000 0000	**1111 1110**		10.254.128.0
	1100 0000	**1111 1110**		10.254.192.0
	0000 0000	**1111 1111**		10.255.255.0
	0100 0000	**1111 1111**		10.255.64.0
	1000 0000	**1111 1111**		10.255.128.0
	1100 0000	**1111 1111**		10.255.192.0

10. حِساب عَدَد الوِحدان في قِناع التَّجزِئة وَفقاً لِلعَلاقة (4-12):

$$b_{mask} = 1 + 7 + 10 = 18$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 18/ أَو 255.255.192.0.

عَدَد البتات	14	10	7	1
	مُعرِّف المُضيف	**مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ**	**مُعرِّف الفضاء**	**بتاتٌ مَحجُوزةٌ**

الشَّكل (4-9): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الثَّالِث في الفصل الرَّابِع

المِثال الرَّابِع

المَطلُوب تجزِئة الفضاء 100.100.10.0/26 إلى فضاءَين على الأَقلِّ في كُلٍّ مِنهما 50 عُنواناً.

1. العنونة غير صَنفيَّة، طُول البادِئة هُو 26 بتاً، ويُحسَب مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-7):

$$b_{SHID} = 32 - 26 = 6$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ تَبعَاً لِلعَلاقة (4-8):

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2(2) \rceil = 1$$

3. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-14):

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50+2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

4. تحديد الطُّول الأَقصَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، مُقدَّراً بالبِت، وَفقاً لِلعَلاقة (4-9):

$$b_{SID_{max}} = 6 - 6 = 0$$

5. فحص الشَّرط المُحدَّد بالعَلاقة (4-18):

$$0 \geq 1$$

وهُو غير مُحقَّقٍ، وهذا يَعني أَن إِنجاز التَّجزِئة وَفقاً لِهذه الشُّروط غير مُمكنٍ.

التَّجزِئة مِن أَجل قِناع ذي طُولٍ مُحدَّدٍ

يَكُون عَدَد الوِحدان في قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة b_{msk} مَعلُوماً في هذه الحالة. إذا كانت العنونة صَنفيَّة، فإِنَّ صَنف العُنوان يَكُون مَعلُوماً، أَمَّا في حال كانت العنونة غير صَنفيَّة، فإِنَّ طُول البادِئة ولِيَكُن b_{prfx} بتاً، يَكُون مَعلُوماً.

انطلاقاً مِن الفَرض، لِحِساب سائِر مُحدِّدات التَّجزِئة، تُتَّبَع الخَطوات التَّالِية:

1. حِساب مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّف المُضيف b_{SHID} وَفقاً لِما يلي:
   a. إذا كانت العنونة صَنفيَّة، وَفقاً لِلعَلاقة (4-6).
   b. إذا كانت العنونة غير صَنفيَّة، وَفقاً لِلعَلاقة (4-7).
2. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ b_{SID} وَفقاً لِما يَلي:
   a. إذا كانت العنونة صَنفيَّة، وَفقاً لِلعَلاقة:

$$b_{SID} = b_{msk} - (b_r + b_{NID}) \qquad (19\text{-}4)$$

   b. إذا كانت العنونة غير صَنفيَّة، وَفقاً لِلعَلاقة:

$$b_{SID} = b_{msk} - b_{prfx} \qquad (20\text{-}4)$$

3. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف وَفقاً لِلعَلاقة (4-11).
4. كِتابة الأَعداد الثُّنائِيَّة بدءَاً مِن الصِّفر وحتَّى القِيمة الكُبرَى الَّتي يَسمَح بها طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، والمَحسُوبة بالعَلاقة: $2^{b_{SID}}$، ويَكُون عَدَد البِتات في القِيم كُلِّها b_{SID} بتاً.

5. تشكيل عناوين الأَفضية الجُزئيّة، بتكرار الخَطوات التَّالِية:
   a. ضمُّ إحدى القِيم الثُّنائيّة المَحسُوبة في الخَطوة الرَّابِعة إلى طَرف مُعرِّف الفضاء الأَقلّ أَهمِّيَّةً، وتشكيل بادِئة الفضاء الجُزئيِّ.
   b. تشكيل مُعرِّف مُضيفٍ، وضَبطه إلى القِيمة الصِّفريَّة، أَي جَعل بتاته كُلِّها أَصفاراً.
   c. ضمُّ مُعرِّف المُضيف إلى طَرف بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ الأَقلّ أَهمِّيَّةً.
   d. نقل العُنوان إلى نِظام العدِّ المُناسِب.

المِثال الخامِس

تجزِئة الفضاء القِياسيِّ 200.200.10.0 وَفقاً لِلقِناع 26/.

1. العنونة صَنفيَّة، والقِناع القِياسيُّ لِأَفضية الصَّنف C هُو 24/، وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 3$، وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 21$. يَكُون مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت وَفقاً لِلعَلاقة (4-6):

$$b_{SHID} = 32 - (3 + 21) = 8$$

2. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وَفقاً لِلعَلاقة (4-19):

$$b_{SID} = 26 - (3 + 21) = 2$$

3. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف تَبعَاً لِلعَلاقة (4-11):

$$b_{HID} = 8 - 2 = 6$$

ويُبيِّن الشَّكل (4-10) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

4. عَدَد مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة هُو $2^2 = 4$ وقِيمها هي $(00)_2$ و$(01)_2$ و$(10)_2$ و$(11)_2$ على التَّرتيب تَبعَاً لِلجدول (4-10).

عَدَد البتات	6	2	21	3
	مُعرِّف المُضيف		مُعرِّف الفضاء	
	مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ			بتاتٌ مَحجُوزةٌ

الشَّكل (4-10): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الخامِس في الفصل الرَّابِع

5. تشكيل عناوين الأَفضية الجُزئيّة تَبعَاً لِلجدول (4-15)، وفيه وُضِعت مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيَّة بالخطِّ الغليظ في الخانة الرَّابِعة.

الجدول (4-15): عناوين الأَفضية الجُزئيّة في المِثال الخامِس في الفصل الرَّابِع

قِيمة الخانة الرَّابِعة (بنِظام العدِّ الثُّنائِيّ)	قِيمة الخانة الثَّالِثة	قِيمة الخانة الثَّانِية	قِيمة الخانة الأُولَى	عُنوان الفضاء الجُزئِيّ
	(بنِظام العدِّ العَشرِيّ)			
0000 0000	10	200	200	200.200.10.0
0100 0000				200.200.10.64
1000 0000				200.200.10.128
1100 0000				200.200.10.192

المثال السَّادِس

تجزِئة الفضاء 50.50.10.0/23 وَفقاً لِلقِناع 25/.

1. العنونة غير صَنفيَّة، وطُول البادِئة هُو $b_{prefix} = 23$ وطُول قِناع التَّجزِئة $b_{mask} = 25$، يَكُون مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ وطُول مُعرِّف المُضيف، مُقدَّراً بالبِت، تَبعاً لِلعَلاقة (4-7) هُو:

$$b_{SHID} = 32 - 23 = 9$$

2. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ وَفقاً لِلعَلاقة (4-20):

$$b_{SID} = 25 - 23 = 2$$

3. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف تَبعاً لِلعَلاقة (4-11):

$$b_{HID} = 9 - 3 = 7$$

ويُبيِّن الشَّكل (4-11) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

4. عَدَد مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيّة هُو $4 = 2^2$ وقِيمها هي $(00)_2$ و$(01)_2$ و$(10)_2$ و$(11)_2$ على التَّرتيب تَبعاً الجدول (4-10).

عَدَد البتات	7	2	23
	مُعرِّف المُضيف		**بادِئة الفضاء**

مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ

الشَّكل (4-11): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال السَّادِس في الفصل الرَّابِع

5. تشكيل عناوين الأَفضية الجُزئِيّة تَبعاً لِلجدول (4-16)، وفيه وُضِعت مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيّة بالخطّ الغليظ في الخانتين الثَّالِثة والرَّابِعة.

الجدول (4-16): عناوين الأفضية الجُزئيَّة في المِثال السَّادِس في الفصل الرَّابِع

قِيمة الخانة الرَّابِعة	قِيمة الخانة الثَّالِثة	قِيمة الخانة الثَّانِية	قِيمة الخانة الأُولَى	عُنوان الفضاء الجُزئِيّ
بنِظام العدِّ الثُّنائِيّ		بنِظام العدِّ العَشريّ		
0000 0000	0000 101**0**	50	50	50.50.10.0
1000 0000	0000 101**0**			50.50.10.128
0000 0000	0000 101**1**			200.200.11.0
1000 0000	0000 101**1**			200.200.11.128

التَّجزِئة مُتعدَّدة المُستوَيات[222] واستعمال أَقنعة الأَفضية الجُزئيَّة مُختلِفة الأَطوال[223]

التَّجزِئة مُتعدِّدة المُستوَيات هي تقسيم فضاء عناوينَ أكثرَ مِن مَرةٍ تقسيماً مُتتابِعاً لإنتاج أَفضية عناوينَ جُزئيَّةٍ ذَوات أَحجامٍ مُختلِفةٍ. يُجزَّأ الفضاء في المُستوَى الأَوَّل إلى عَدَدٍ مِن الأَفضية الجُزئيِّة، وقد يُجزَّأ بعضٌ مِن هذه الأَفضية في مُستوَىً ثانٍ ثُمَّ ثالِثٍ أَو أكثرَ بمُقتضَى الحاجة. يَتطلَّب استخدام التَّجزِئة المُتعدِّدة تخطيطاً لِعنونة الشَّبكة ومَهاراتٍ رِياضيَّةً لإنجازها، ويُتيح عند استخدامه استخداماً سليماً خِياراتٍ أكثرَ مرُونةً مِن التَّجزِئة المَوصُوفة في الفقرات السَّابِقة في هذه الفصل والَّتي تُوصَف بأَنَّها وَحيدة المُستوَى.[224]

يُمكِن استخدام التَّجزِئة المُتعدِّدة مع فضاء عناوينَ قِياسيٍّ أَو مع بادِئةٍ غير قِياسيَّة. في الأُولَى، ستَنتُج أَفضيةٌ جُزِئيَّةٌ مُختلِفة الأَحجام يَكُون لها أَقنعة شَبكاتٍ جُزئيَّةٍ مُختلِفة الأَطوال، ويُستخدَم هذا الاصطلاح عادةً لِلإشارة إلى استعمال أَفضيةٍ جُزئِيةٍ ذَوَات أَطوال أَقنعةٍ مُختلِفةٍ ناتِجةٍ عن التَّجزِئة المُتعدِّدة لِفضاءٍ وَاحِدٍ مِن صَنف قِياسيٍّ، ولِأَنَّ أَطوال الأَقنعة مُتفاوِتةٌ، فإنَّ لِلأَفضية الجُزئِيَّة أَحجاماً مُختلِفةً.

على سبيل المثال، يُبيِّن الشَّكل (4-12) استخدَاماً لِأَقنعة الأَفضية الجُزئِيّة مُختلِفة الأَطوال النَّاتِجة عن تجزِئة الفضاء القِياسيِّ 200.100.10.0 مِن الصَّنف C.[225]

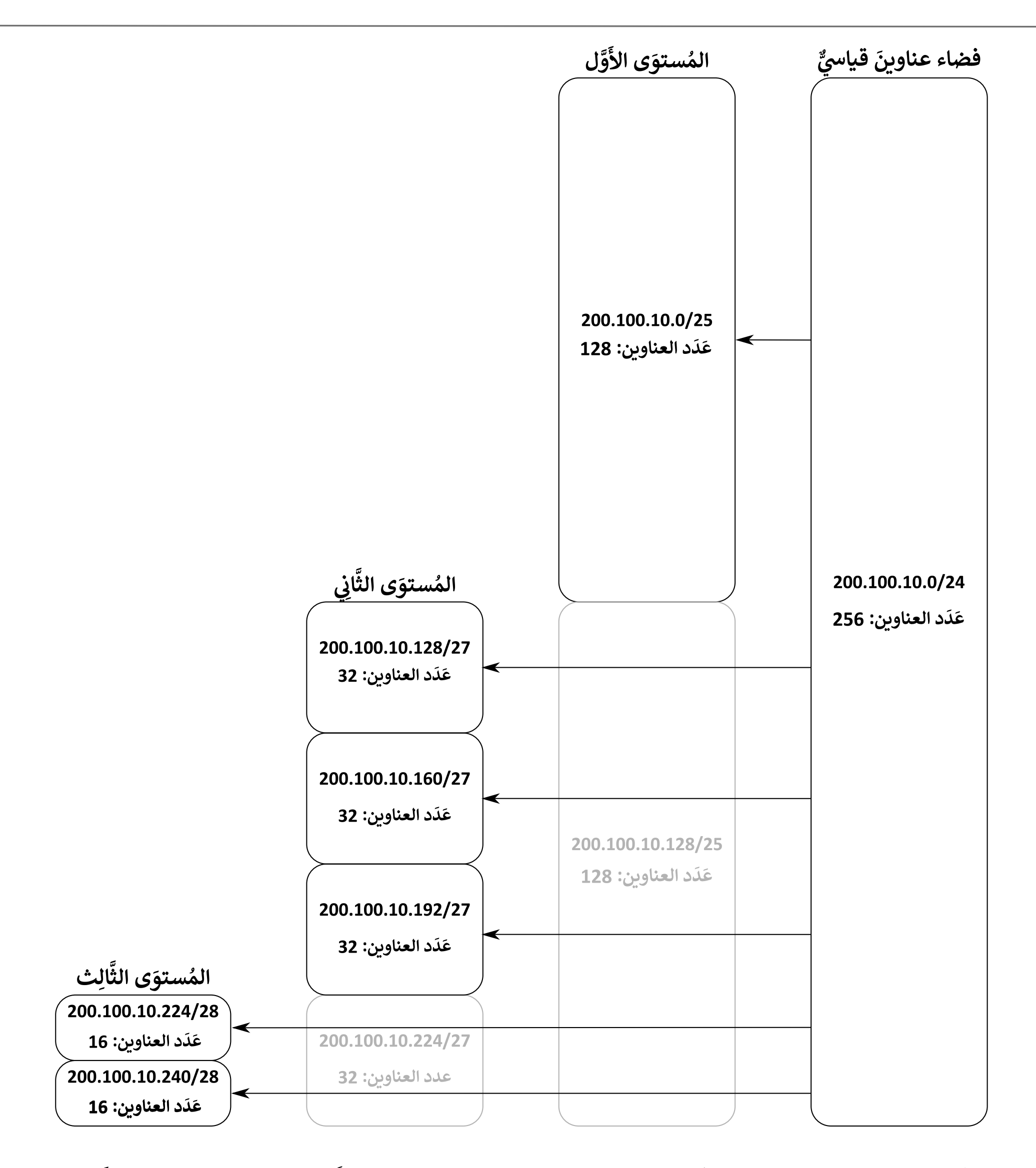
- في المُستوَى الأَوَّل مِن التَّجزِئة يُجزَّأ الفضاء القِياسيُّ إلى فضاءَين جُزئِيَّين، هُما: 200.100.10.0/25 و200.100.10.128/25، يَحوِي كُلٌّ مِنهما 128 عُنواناً.
- في المُستوَى الثَّانِي مِن التَّجزِئة، يُجزَّأ الفضاء 200.100.10.128/25 إلى 4 أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ، هي 200.100.10.128/27 و200.100.10.160/27 و200.100.10.192/27 و200.100.10.224/27، في كُلٍّ مِنها 32 عُنواناً.
- في المُستوَى الثَّالِث مِن التَّجزِئة، يُجزَّأ الفضاء 200.100.10.224/27 إلى فضاءَين جُزئِيَّين، هُما 200.100.10.224/28 و200.100.10.240/28، في كُلٍّ مِنهما 16 عُنواناً.

[222] أَصل الاسم Multilevel subnetting.

[223] أَصل الاسم Variable Length Subnet Mask، اختصاراً VLSM.

[224] أَصل الاسم Single-level subnetting.

[225] انظر ص. 5-6 في [RFC1878] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (4-12): مِثالٌ عن تجزِئةٍ مُتعدِّدةٍ لفضاء عناوينَ قِياسيٍّ مِن الصَّنف C وتوليد أَقنعة شَبكاتٍ جُزئِيَّةٍ مُختلِفة الأَطْوال

يُمكِن، بعد إِنجاز التَّجزِئة، استعمال أَفضية عناوينَ جُزئِيَّةٍ مِن مُستوياتٍ مُختلِفةٍ بشرط الانتباه إِلى عدم تراكُبها، مثلاً يُمكِن استعمال الفضاء 200.100.10.0/25 مِن المُستوَى الأَوَّل مع الفضاءَين 200.100.10.128/27 و200.100.10.160/27 مِن المُستوَى الثَّانِي والفضاء 200.100.10.224/28مِن المُستوى الثَّالِث.[226]

يَلزَم الانتباه عند استعمال الأَفضية الجُزئِيّة النَّاتِجة عن التَّجزِئة السَّابقة مُتعدِّدة المُستوَيات إِلى دور القِناع في تحديد المُستوَى الَّذي يَقع الفضاء الجُزئِيُّ فيه، فلا يَكفِي عُنوان الفضاء وَحده لِتحديده. في المِثال السَّابِق، فالفضاء ذُو العُنوان 200.100.10.224 قد يَكُون فِي المُستوَى الثَّانِي، لو كان قِناعه 27/، أَو في المُستوَى الثَّالِث، لو كان قِناعه 28/.

يَنتُج عن استعمال الأَقنعة مُختلِفة الأَطوال زيادةٌ في عَدَد الأَفضية الجُزئِيّة، ويُسبِّب ذلك زيادةً في أَحجام جداول التَّوجيه في المُوجِّهات، لِأَنَّ بَنداً جديداً سيُضاف إِلى الجدول مِن أَجل كُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ.

[226] لِمزيدٍ مِن الأَمثلة عن استعمال أَقنعة الأَفضية الجُزئِيَّة مُختلِفة الأَطوال، انظر المُلحَق د في هذا الكِتاب.

مُشكِلات مُرتبِطة بالتَّجزِئة

مُشكِلاتٌ مُرتبِطة بالعنونة

تراكُب أَفضية العناوين

هُو مُشكِلةٌ تَنجُم عن تجزِئة فضاء عناوينَ ما تجزِئةً غير صحيحةٍ فيَكُون بعضٌ مِن فضاء العناوين الأَصيل مُشترَكاً بين فضاءَين جُزئيَّين أَو أكثر، ويُسبِّب ذلك مُشكِلةً عند التَّوجيه، فلا يُمكِن لِلرِّزم بُلُوغ مَجمُوعةٍ واحدةٍ أَو أكثرَ مِن الأَفضية المُتراكِبة.

سَبق تَناوُل هذه المُشكِلة في الفصل الثَّالِث، عند الحديث عن مُشكِلات برُوتُوكُول الإنترنِت المُرتبِطة بالعنونة. ولكنَّها شائِعةٌ أيضاً عند استعمال أَقنعة الأَفضية الجُزئِيَّة مُختلِفة الأَطوال. على سبيل المثال، وَفقاً لِلشَّكل (4-12)، يَحصُل تراكُب عناوينَ بين الأَفضية النَّاتجة عن استخدام أَقنعة شَبكاتٍ جُزئيَّة مُختلِفة الأَطوال لو اُستُعمِل:

- الفضاء 200.100.10.0/24 مع أيِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ في أيِّ مُستوَى تجزِئةٍ لاحِقٍ، فهذه الأَفضية كُلُّها أَجزاءٌ مِنه، ونتيجةً لِذلك فهي تَشترِك معه بمَجمُوعةٍ مِن العناوين.
- الفضاء 200.100.10.128/25 مع أيٍّ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة 200.100.10.128/27 و200.100.10.160/27 و200.100.10.192/27
- الفضاءَان 200.100.10.224/27 و200.100.10.224/28.

يُمكِن استخدام فضاء العناوين نفسِه أَو جُزءٍ مِنه أَكثرَ مِن مرَّة في الشَّبكة ذاتها باستعمال تقنية ترجمة عُنوان الفضاء الَّتي ستُدرَس في الفصل التَّاسِع من هذا الكِتاب، وعادةً ما تُستخدَم أَفضية العناوين الخاصَّة[227] عند تطبيقها.

هَدر العناوين في الأَفضية الجُزئِيَّة الصَّغيرة

تَحتاج بعضٌ مِن برُوتُوكُولات طبقة الوَصلة، نحوُ برُوتُوكُول الوَصل بين نقطتين،[228] إلى أَفضية عناوينَ جُزئيَّةٍ بالِغة الصِّغر، تَحتوِي عُنوانين فقط، لكنَّ تجزِئة أيِّ فضاء عناوينَ لِلإصدار الرَّابع من برُوتُوكُول الإنترنِت مَحدودةٌ بطُولٍ أَصغرَ لِمُعرِّف المُضيف هُو بتان اثنان، ويَعنِي ذلك وجُود أَربعة عناوينَ في الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج، يَكُون اثنانٌ مِنها مَحجُوزين لِعُنوان الفضاء ولِعُنوان البثِّ العامِّ، ويَظلُّ عُنوانان مُتاحين لِعنونة المُضيفِين. إذا جُزِّئَ الفضاء لِيَكُون طُول مُعرِّف المُضيف بتاً واحِداً فقط، فإنَّ قِناع الفضاء سيَكُون 31/، وعَدَد عناوين الفضاء اثنين فقط، وهُما مَحجُوزان سلفاً لِعُنوان الفضاء ولِعُنوان البثِّ العامِّ، أي لا يُوجَد أيُّ عُنوانٍ مُتاحٍ لِعنونة المُضيفِين.

يَعنِي التَّقسيم السَّابِق هَدر ما نِسبته 50% تقريباً مِن عَدَد العناوين المُتاحة لِلمُضيفِين لِإنجاز قضايا تَتعلَّق بالتَّوجيه. فلو جُزِّئ مثلاً فضاء عناوينَ قِياسيٌّ مِن الصَّنف C وَفقاً لِلقِناع 30/، فسيَنتُج 64 فضاءً جُزئيَّاً في كُلٍّ مِنها 4 عناوينَ، اثنانٌ مِنها

---

[227] أَصل الاسم Private address space وهي ثلاثة أَفضيةٍ مَحجُوزةٍ في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت: 10.0.0.0/8 و172.168.0.0/12 و192.168.0.0/16، انظر ص. 4 في [RFC1918] في ثَبت المَراجِع.

[228] أَصل الاسم Point-to-Point Protocol، اختصاراً PPP، انظر [RFC1661] في ثَبت المَراجِع.

فقط مُتاحان لِلعنونة، أَي ما مُجمَله 128 عُنواناً فقط، في مقابل 254 عُنواناً مَتاحاً لِلمُضيفِين في الفضاء القِياسي قبل التَّجزِئة. اقترحت وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 3021 حلّاً لهذه المُشكلِة مِن خلال إِيجاد آليَّةٍ لِاستعمال الأَفضية الجُزئيَّة ذَوات الأَقنعة 31/،[229] وفيها يُمكِن استعمال عُنوان الفضاء وعُنوان البثِّ العامِّ لِعنونة المُضيفِين، ولكنَّ الوثيقة اشترطت استخدام بِرُوتُوكُول الوَصل بين نُقطتين لِإنجاح ذلك.

مُشكِلاتٌ مُرتبِطةٌ بالتَّوجيه

زيادة أَحجام جداول التَّوجيه

يَلزَم أَن يَملك أَيُّ مُوجِّهٍ في جدول توجيهه مَساراً واحِداً على الأَقلِّ نحو كُلِّ فضاءٍ مُستعمَلٍ في العنونة. يَزداد عَدَد الأَفضية الجُزئيَّة بعد التَّجزِئة ما يُسبِّب زيادةً في عَدَد البُنود في جدول التَّوجيه، وتُصبِح القضية مُشكِلةً في الشَّبكات الكبيرة، نحوُ الإِنترنِت، حيث يُمكِن أَن تَنمُو أَحجام جداول التَّوجيه نُمُوّاً خارِجاً عن السَّيطرة.

أَشارت وثيقة طَلب التعليقات RFC 1338 إِلى مُشكِلة نُمُوِّ حَجم جداول التَّوجيه في سِياق عَرضها لِمُشكِلاتٍ مُرتبِطةٍ بالعنونة والتَّوجيه في الإِنترنِت، ووَصفتها بالنَّصِّ التَّالِي:[230] «نُمُوُّ جداول التَّوجيه في مُوجِّهات الإِنترنِت لِتَتجاوز القُدرات الحاليَّة لِلبرمجيَّات (والأَشخاص) لِإدارتها بفعَّاليَّةٍ». تابعت وثائِق طَلب التَّعليقات اللَّاحِقة هذه المُشكِلة، فوَرد وَصفٌ مُعدَّلٌ لها في الوثيقتين RFC 1519 وRFC 4632 وفيه أُضيفت كَلمة "عَتاد" فيه إِلى جانِب البرمجيَّات والأَشخاص، وقد تَوقَّعت هذه الوثائِق نُمُوّاً أُسيّاً في أَحجام جداول التَّوجيه إِذا استمرَّت إِضافة البُنود إِليها بالشَّكل السَّابِق. وتُظهِر الإِحصائِيَّات الخاصَّة بالإِنترنِت في الفترة بين عامي 1989 و2007م[231] زيادةً أُسيَّةً في عَدَد البُنود الفريدة في جدول توجيه بِرُوتُوكُول البوَّابة الحدوديَّة[232] بما يَتوافَق مع توقُّعات العامين 1992م و1993م.

يَوفِّر التَّوجيه غير الصِّنفيِّ بين النِّطاقات آليَّةً لِتجميع بُنُود جدول التَّوجيه الَّتي تَخصُّ أَفضيةً جُزئِيَّةً ناتِجةً عن تجزِئة فضاءٍ أَصيلٍ واحِدٍ، ويَنتُج عن ذلك بَندٌ وَاحِدٌ يُمثِّل فضاءً يَشمَل الأَفضية الجُزئِيَّة كُلَّها، وتُسمَّى العمليَّة تجميع المَسارات،[233] ويَنتُج عنها انخفاضٌ مَلحُوظٌ في حَجم جداول التَّوجيه، لكنَّها تَتطلَّب تصميماً مُحكَماً لِلشَّبكة، فالاستخدام غير المَضبُوط لها يُؤَدِّي إِلى تجميعٍ غير مُلائِمٍ وهُو إِحدَى المُشكِلات المُرتبِطة بالتَّوجيه أَيضاً.

---

[229] انظر [RFC3021] في ثَبت المَراجِع.

[230] النَّصُّ الأَصل كما وَرد في الوثيقة RFC 1338 هُو: « Growth of routing tables in Internet routers beyond the ability of current software (and people) to effectively manage»، انظر ص. 2 في [RFC1338] في ثَبت المَراجِع. أَمَّا النَّصُّ المُعدَّل كما وَرد في الوثيقة RFC 4632 فهُو: « Growth of routing tables in Internet routers beyond the ability of current software, hardware, and people to effectively manage»، انظر ص. 4 في [RFC4632].

[231] انظر [WEB07] و[WEB08] في ثَبت المَراجِع.

[232] أَصل الاسم Border Gateway Protocol، اختصاراً BGP، وهُو بِرُوتُوكُول التَّوجيه الرَّئِيس في الإِنترنِت لِلمزيد حوله انظر [RFC4271] في ثَبت المَراجِع.

[233] انظر ما جاء في شَأنها في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

تجميع المَسارات غير المُلائِم

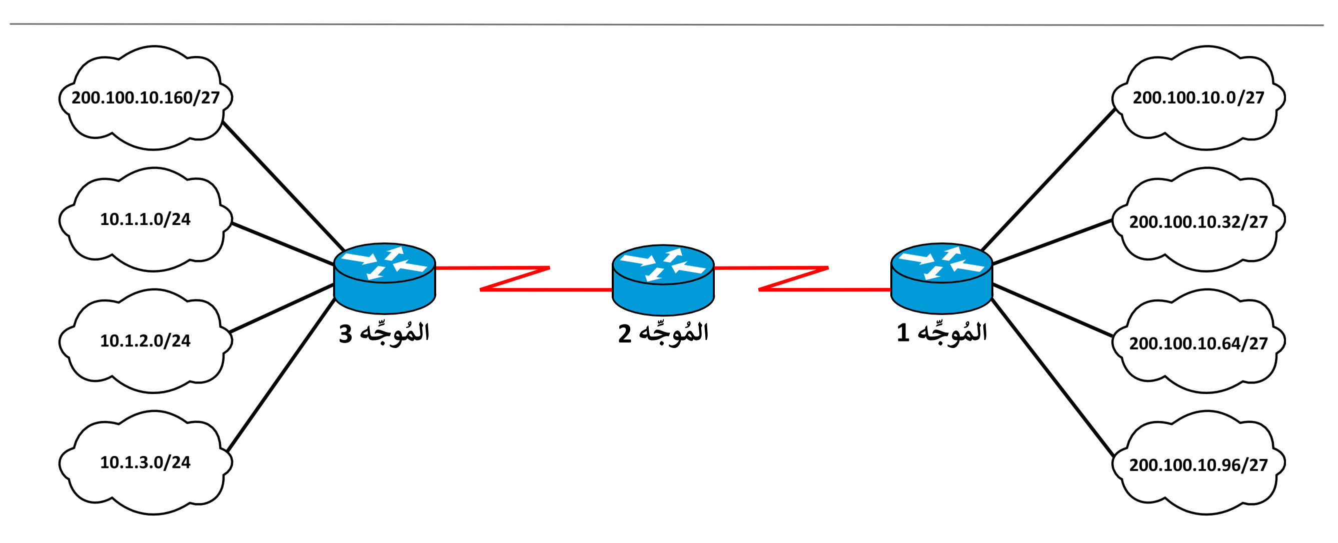
تجميع المَسارات هُو آليَّةٌ رِياضيَّةٌ لاختزال عَدَدٍ مِن المَسارات نحو أَفضية جُزئِيَّةٍ ناتِجةٍ عن تجزئة فضاءٍ أَصلٍ واحِدٍ، وإنتاج مَسارٍ وَاحِدٍ يَشمُل المَسارات نحو تلك الأَفضية. تُستعمَل هذه الآليَّة لِتصغير أَحجام جداول التَّوجيه وبالتَّالِي تخفيض وقت مُعالَجة الرِّزم، وتقليل استهلاك عَرض النِّطاق عند إرسال رسائِل تحديث برُوتُوكُولات التَّوجيه.

يَتطلَّب إنجاز تجميع المَسارات إنجازاً صحيحاً تخطيطاً مُسبَقاً لِعمليَّة العنونة، وعندها تُوزَّع الأَفضية الجُزئِيَّة بطريقةٍ تَسمَح باختزالها لاحِقاً عند إنجاز التَّوجيه. ويُسبِب غياب التَّخطيط أَو إنجاز عمليَّة التَّجميع إنجازاً غير مُتوافِقٍ مع طُوبُولُوجيا الشَّبكة مُشكِلة التَّجميع غير المُلائِم، وفيها يُولَّد مَسارٌ مُختزَلٌ لا يُمثِّل المَسارات نحو الأَفضية الجُزئِيَّة كُلِّها. أَو يُولَّد مَسارٌ مُختزَلٌ يُمثِّل، بالإضافة للمَسارات المَطلُوبة، عَدَداً مِن المَسارات الأُخرى غير المَطلُوبة، وتُسبِب هذه الحالات كُلُّها مُشكِلاتٍ مُرتبطةً بالتَّوجيه، وخاصَّةً تَعذُّر الوصُول إلى فضاءٍ جُزئِيٍّ واحِدٍ أَو أَكثر.

على سبيل المِثال، يُجزَّأ الفضاء القِياسي 200.100.10.0 باستعمال القِناع 27/ فيَنتُج عن ذلك 8 أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ، تُستخدَم خَمسٌ مِنها في عنونة شَبكاتٍ كما يُظهِر الشَّكل (4-13) حيث تُعنونِ هذه الأَفضية أَربع شَبكاتٍ مُتَّصِلةً مع المُوجِّه 1، وشَبكةً وَحيدةً مُتصِلةً مع المُوجِّه 3. في الوقت نفسِه، تُستعمَل أَفضيةٌ أُخرى في عنونة ثلاث أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ مُتصِلةٍ مع المُوجِّه 3 أَيضاً. في هذه الحالة لا يُمكِن اختزال المَسارات نحو الأَفضية الجُزئِيَّة النَّاتِجة عن تجزئة الفضاء القِياسيِّ 200.100.10.0 كُلِّها بمَسارٍ وحيدٍ، لِأَنَّ مَوقع الشَّبكة المُعنوَنة بالفضاء 200.100.10.160/27 يَمنَع ذلك، وستَقُود عمليَّة تجميع المَسارات نحو الأَفضية الجُزئِيَّة السَّابِقة كُلِّها بمَسارٍ وحيدٍ إلى مُشكِلة التَّجميع غير المُلائِم.

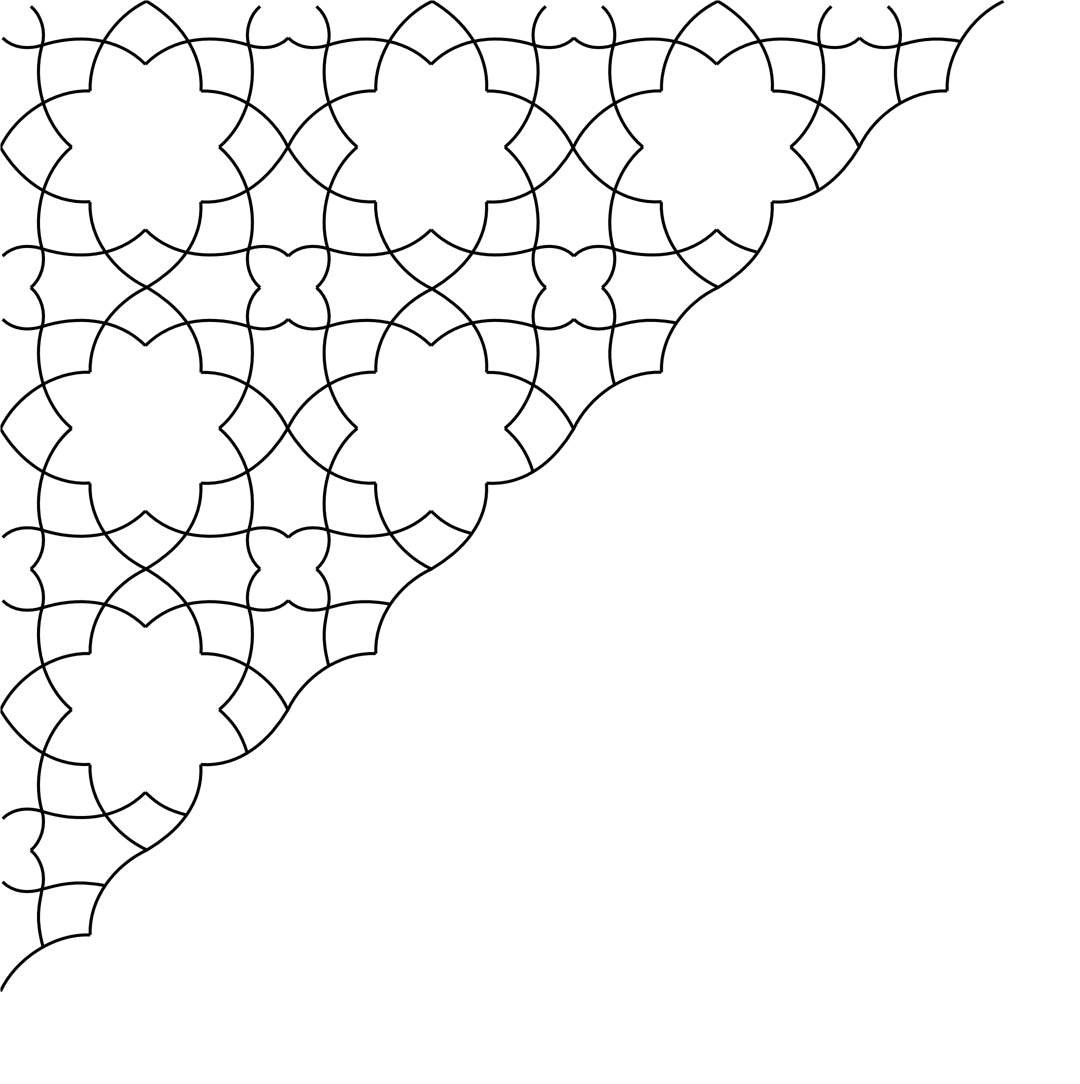
يُمكِن مُعالجة المُشكِلة السَّابِقة بطريقتين:

1. إعادة عنونة الشَّبكات وَفقاً لِمَنهجٍ آخرَ يَدعَم تَجميع المَسارات.
2. اختزال بعضٍ مِن المَسارات نحو مَجمُوعةٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّةٍ بدلاً مِن اختزال المَسارات كُلِّها. مثلاً اختزال المَسارات نحو الأَفضية الجُزئيَّة 200.100.10.0/27 و200.100.10.32/27 و200.100.10.64/27 و200.100.10.96/27 بمَسارٍ وحيدٍ نحو الفضاء 200.100.10.0/25 الَّذي يَشمُل الأَفضية الجُزئِيَّة الأَربعة السَّابِقة، ولا يَشمُل الفضاء 200.100.10.160/27.

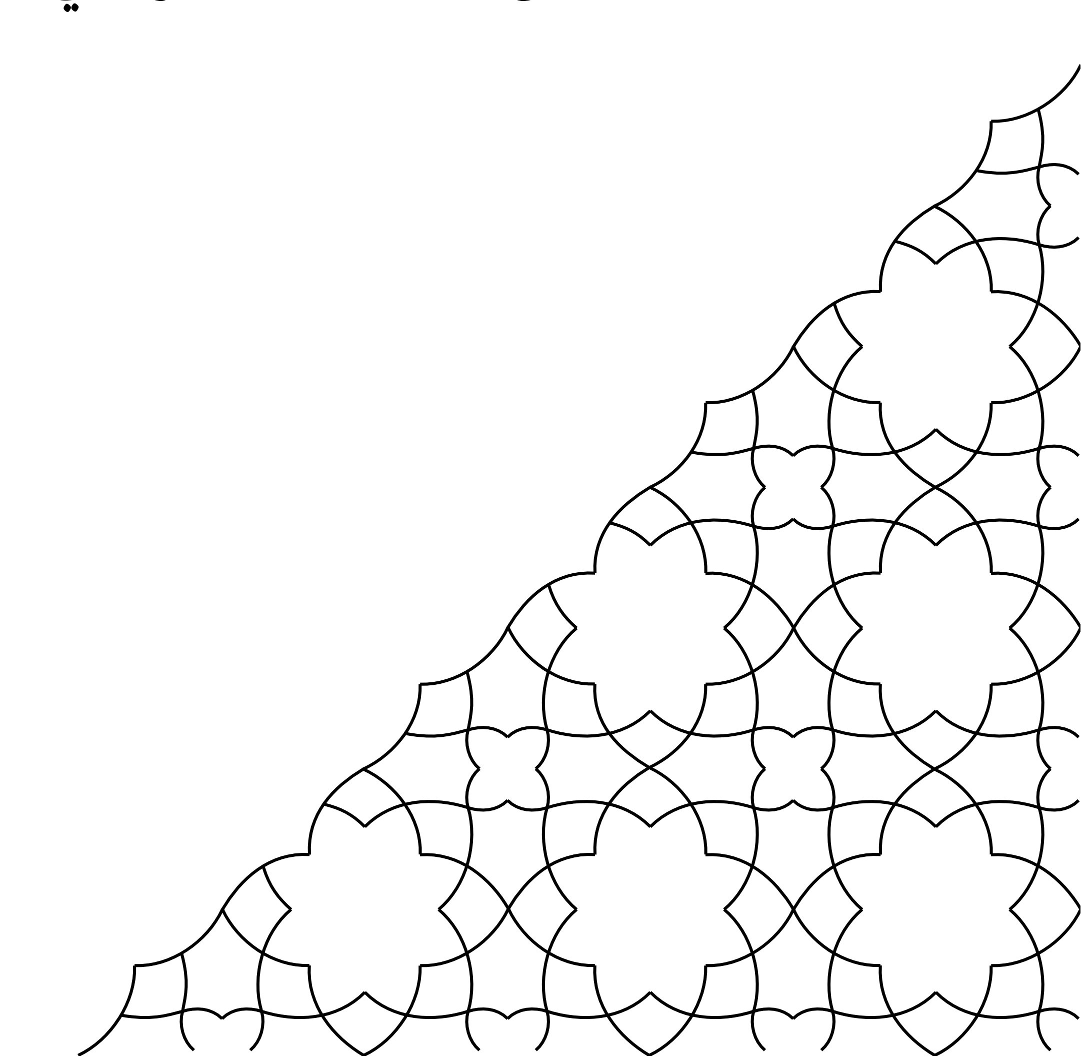


الشَّكل (4-13): مثالٌ عن حالة لا يُمكِن استخدام تجميع المَسارات فيها بالشَّكل الأَمثل

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل الخامِس: البثُّ المَجمُوعاتيُّ



مُقدِّمةٌ

البثُّ المَجمُوعاتيُّ أَو البثُّ مُتعدِّد الوِجهات[234] هُو آليَّةٌ لِتوجيه حركة البيانات في الشَّبكة انطلاقاً مِن مَصدَر وَاحِدٍ وُصُولاً لِمَجمُوعةٍ مِن الطَّرفيَّات في الوقت نفسِه. تَكُون هذه الطَّرفيَّات أَعضاءً في مَجمُوعةٍ مُميَّزة بعُنوانٍ خاصٍّ مِن فضاء عناوين البرُوتُوكُول التَّشبيك المُستعمَل[235].

وفقاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، فإِنَّ البثَّ المَجمُوعاتيّ مِن وَظائف طَبقة الشَّبكة حيث تَعمَل برُوتُوكُولاتٌ خاصَّةٌ على إنشاء مَجمُوعات من الطَّرفيَّات وإِلغائِها، كما تُدير عمليَّة انضمام الطَّرفيَّات إِلى هذه المَجمُوعات وخروجهم مِنها، من هذه البرُوتُوكُولات برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت، أَمَّا تشبيك أَعضاء المَجمُوعات عبر الشبكات المُختلِفة فيَحصُل باستخدام الأَشجار المُتفرِّعة.

تَختصُّ عائِلةٌ مِن برُوتُوكُولات التَّوجيه بالبثِّ المَجمُوعاتيّ وتُنشِئ مَساراتٍ على هيئَة أَشجارٍ لا حلقات فيها تَصِل إِلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم، نحو برُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيّ تَبعَاً لِشُعاع المَسافة وعائِلة برُوتُوكُولات البثِّ المَجمُوعاتيّ المُستقِّل عن برُوتُوكُول التَّوجيه وغير ذلك، وسيُناقَش هذان البرُوتُوكُولان في ما سيَأتي مِن هذا الفصل. تُوجَد أَيضاً إِضافاتٌ دَاعِمةٌ لِبرُوتُوكُولات تَّوجيه رزم البثِّ فريد الوِجهة، نحو إِضافة البثِّ المَجمُوعاتيّ الخاصَّة ببرُوتُوكُول المَسار الأَقصر والَّتي سَتَرِد في ما سيَأتي.

شَهِدت تقنيَّة البثِّ المَجمُوعاتيّ، منذ اعتمادها آليَّةً لِتوجيه الرِّزم، العديد مِن الإِضافات والتَّحسينات، وطُوِّرت لِأَجل ذلك تقنيَّاتٌ رَدِيفةٌ نحو مِيزة مُراقبة برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت والبثِّ المَجمُوعاتيّ مُحدَّد المَصدَر، كما أُدخِلت التَّعديلات على تقنيَّاتٍ مَوجُودةٍ مُسبَقاً لِتخدم أَغراض البثِّ المَجمُوعاتيّ نحو التَّوجيه بعكس المَسار، وستُعرَض لمحةٌ عنها في ما سيَأتي.

يَبدَأ هذا الفصل بنظرةٍ عامَّةٍ على مَبدَأ البثِّ المَجمُوعاتيّ وآليَّة عمله، يَليها تعريفٌ بالمَفاهيم الرَّئيسة المُرتبِطة بهذه التِّقنيَّة ثُمَّ عرضٌ لِعوائِل البرُوتُوكُولات المُستخدَمة لِتنفيذ هذه المفاهيم وهي تَقع في مَجمُوعتين: برُوتُوكُولات إدارة المَجمُوعات وبرُوتُوكُولات توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيّ، وأَخيراً تقديمٌ لِبعضٍ مِن الآليَّات المُكمِّلة لِتقنيَّة البثِّ المَجمُوعاتيّ.

نظرةٌ عامَّةٌ

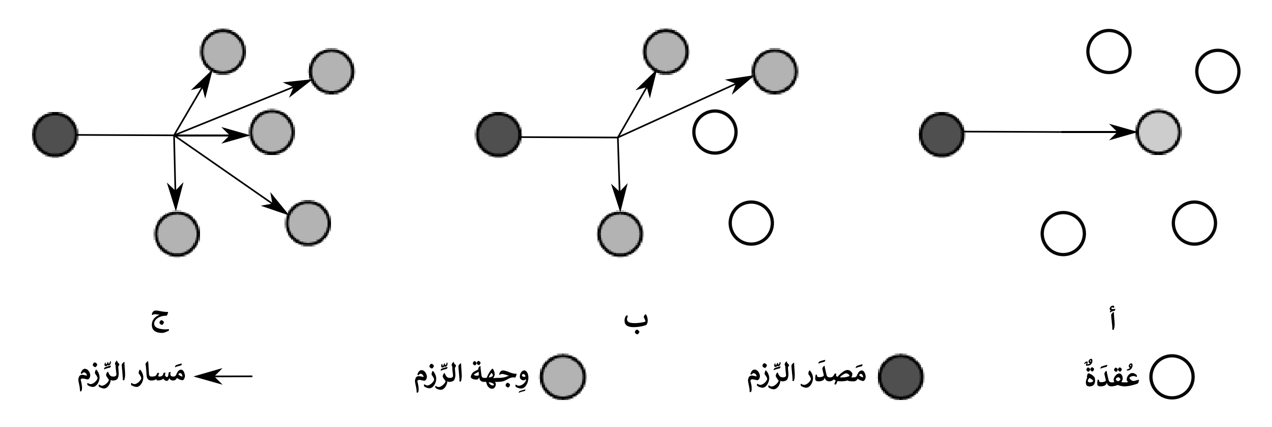
البثُّ المَجمُوعاتيُّ هُو طريقةٌ لِإرسال رِزمة بياناتٍ وَاحِدةٍ أَو أَكثر إِلى عَدَدٍ مِن الوِجهات في الوقت نفسِه. تَستضيف وِجهات الرِّزمة عُنواناً خاصَّاً مُميَّزاً يُسمَّى عُنوان المَجمُوعة، ويَلزَم أَن تَصِل الرِّزمة المُوجهة نحو عُنوان المَجمُوعة إِلى الوجهات الَّتي

[234] أَصل الاسم Multicast، ووَرَدت مُعرَّبةً في ص. 51 في [BKA05] في ثَبت المَراجِع إِلى "بثٍّ مُتعددِ الوِجهات" ولكننا نَراه تعبيراً غامِضاً غير مُحدَّدٍ بما فيه الكفاية لِلتَّمييز عن البثِّ العامِّ الَّذي يَصحّ وَصفه بأَنَّه بَثٌّ مُتعدِّد الوِجهات أَيضاً، فارتأَينا تخصيصه أَكثر وتعريبه إِلى "بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ" مَنعاً لِلالتباس.

[235] جاء في ص. 249 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع ما يأَتي: "هي شَكلٌ خاصٌّ مِن البثِّ العامِّ يَجري فيه إِيصال نسخٍ مِن الرِّسالة إِلى مَحطَّاتٍ عديدةٍ لكن لا إِليها كُلِّها"، ونَرَى أَنَّ الصَّواب قد جانَب هذا التَّعريفُ، فالبثُّ العامُّ في ما رَأينا هُو حالةٌ خاصَّةٌ مِن البثِّ المَجمُوعاتيّ لا العكس.

تستضيفه كُلّها. تَخضَع رِزم البثِّ المَجمُوعاتيّ لِعمليَّة توجيهٍ مُغايرةٍ لِتلك الَّتي تَخضَع لها الرُّزم فريدة الوِجهة أَو رِزم البثِّ العامِّ. عُرِّف البثُّ المَجمُوعاتيُّ في الأَصل بصفته إحدَى الإِضافات المُلحَقة بالمُضيف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1122.[236]

يَدعم البثُّ المَجمُوعاتيُّ مبدَأ الإِرسال "مَصدَرٌ وَحيدٌ ووِجهاتٌ عديدةٌ" لِرزم البيانات (الشكل (5-1)). ويُمثِّل هذا المَبدَأ حلّاً وسطاً بين البثِّ فريد الوِجهة المَحدُود الَّذي يَعتمِد على مَبدَأ "مَصدَرٌ وَحيدٌ ووِجهةٌ وَحيدةٌ"، وبين البثِّ العامِّ الشَّامِل الَّذي يَغمُر الشَّبكة بعَدَدٍ هائِلٍ مِن الرِّزم بسبب اعتماده على مبدَأ "مَصدَرٌ وحيدٌ وكُلُّ الوِجهات المُمكِنة"[237] تُشابِه رِزمُ البثِّ المَجمُوعاتيّ رزمَ البثِّ فريد الوِجهة ورِزم البثِّ العامِّ مِن ناحية البِنية، وتَختلِف عنها بوجُود عُنوان البثِّ المَجمُوعاتيّ في حقل الوِجهة، بدلاً مِن عُنوان البثِّ فريد الوِجهة أَو عُنوان البثِّ العامِّ. يُحدِّد برُوتُوكُول التَّشبيك بِنية عُنوان البثِّ المَجمُوعاتيّ وفضاء العناوين الخاصّ به.



الشَّكل (5-1): مبادِئ إرسال رِزم البيانات (أ) مَصدَرٌ وَحيد ووِجهة وَحيدةٌ (ب) مَصدَرٌ وحيدٌ ووِجهاتٌ عديدة (ج) مَصدَرٌ وحيدٌ وكُلُّ الوِجهات المُمكِنة

تَنقُل المُوجِّهات رِزم بيانات البثِّ فريد الوِجهة مِن مَصدَرها إِلى وِجهتها عبر مَسارٍ مُكوَّنٍ مِن قَفزاتٍ مُتتابِعةٍ، وتَكُون مَهمَّة برُوتُوكُولات التَّوجيه فريد الوِجهة هي حِساب هذه المَسارات. أَمَّا توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ فهو أَكثرُ تعقيداً، لِأَنَّ على بعض المُوجِّهات أَن تُنشِئ نُسَخاً مُتشابِهةً مِن الرِّزمة نفسِها لِإرسالها عبر أَكثرَ مِن مَنفَذٍ إِلى أَكثرَ مِن وِجهةٍ في الوقت ذاتِه. أَي في حين يَكُون مَسار رِزمة البيانات فريدة الوِجهة مُستقِيماً يَصِل بين المَصدَر والوِجهة، فإِنَّ مَسار رِزمة البثِّ المَجمُوعاتيِّ يَكُون شجريّاً مُتفرِّعاً يَبدَأ مِن المَصدَر، ويَتفرَّع في المُوجِّهات عبر الشَّبكة لِيَصِل إِلى وِجهاتٍ مُتعدِّدةٍ، وتُعتمَد برُوتُوكُولات توجيهٍ خاصَّةٌ لِإنشاء الشَّجرة أَو تُزوَّد برُوتُوكُولات التَّوجيه الخاصَّة بالبثِّ فريد الوِجهة بِإضافاتٍ خاصَّةٍ لِدعم البثِّ المَجمُوعاتيِّ.

---

[236] انظر ص. 67 وما بعدها في [RFC1122] في ثَبت المَراجِع، وانظر أَيضاً [ART23] مِن أَجل أُطروحة درجة الدُّكتوراه الَّتي أَعدَّها ستِيفِن دِيرينِغ في عام 1989م، وهي مِن أَقدم وأَشمل المَصادِر الَّتي تَناوَلت مَفهُوم البثِّ المَجمُوعاتيّ، وانظر أَيضاً [RFC5110] و[RFC6308] وفيهما نظرةٌ شامِلةٌ تُغطِّي البثَّ المَجمُوعاتيّ وبِنيته وآليَّاته ونحو ذلك.

[237] أُصول الأَسماء: مَصدَرٌ وحيدٌ ووِجهاتٌ عديدةٌ One-to many، مَصادِرُ عديدةٌ ووِجهاتٌ عديدةٌ Many-to-many، مَصدَرٌ وَحِيدٌ ووِجهةٌ وحيدةٌ One-to-one، ومَصدَرٌ وَحيدٌ وكُلُّ الوِجهات المُمكِنة One-to-all.

تَصِل شجرة البثِّ المَجمُوعاتِيّ بين مَجمُوعةٍ مِن عُقد الشَّبكة الَّتي تُسمَّى أعضاءً فيها. تُدير برُوتُوكولاتٌ خاصَّةٌ عمليَّة إنشاء المَجمُوعة ونشر مَعلُوماتها بين المُوجِّهات، بالإضافة لِعمليَّة حذفها ولِمُتابعة التَّغيرات الحاصِلة فيها نحو إضافة أعضاءٍ جُدُد إليها أو حذف أعضاءٍ مِنها.

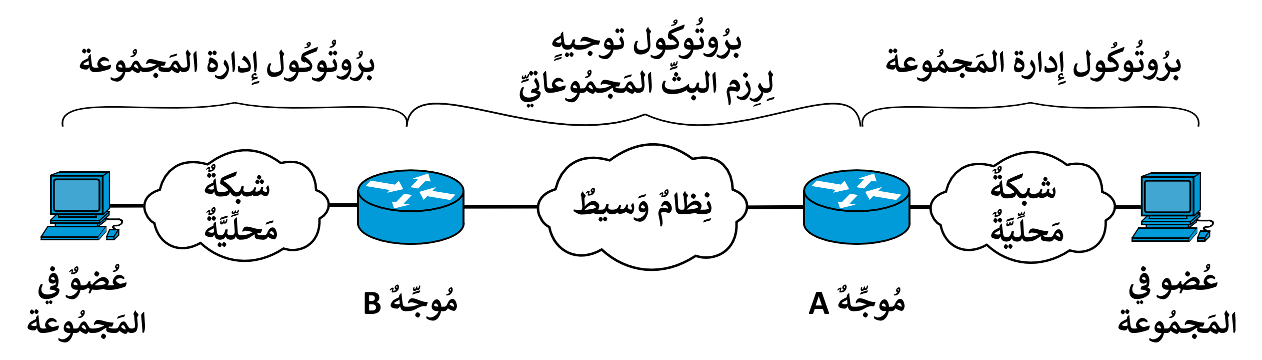
تخفيف الحُمُولة في الشَّبكة مِن مِيزات استعمال البثِّ المَجمُوعاتِيّ. ففي البثِّ العامِّ، تُرسَل رِزمة البيانات نحو الوِجهات المُتاحة كُلِّها فتَغمُر الشَّبكة كُلَّها. أمَّا في البثِّ المَجمُوعاتِيّ، فإنَّ مَصدَر البيانات يُولِّد رِزمة بياناتٍ واحِدةً، ثُمَّ تُنقل هذه الرِّزمة بعد ذلك إلى أعضاء المَجمُوعة فقط، ولا تُنسَخ إلَّا عند الحاجة لِإرسالها عبر أكثر مِن مَسارٍ في الوقت نفسِه.

آليَّة العمل

يَعتمِد البثُّ المَجمُوعاتِيُّ على دعم شَبكة البيانات لِبنيةٍ شجريَّةٍ تَنشُط فيها مَجمُوعةٌ مِن البرُوتُوكُولات الَّتي تُنجِز الوظائِف اللَّازِمة لِتوصيل الرِّزم إلى أعضاء المَجمُوعة كُلِّهم.

تُقسَم شَبكة البيانات بِنيويّاً عند دعم البثِّ المَجمُوعاتِيّ، إلى قِسمين (الشَّكل (5-2)):

1. الشَّبكات المَحلِّيَّة حيث يَتواجد أعضاء المَجمُوعات وتَنشُط برُوتُوكُولات إدارة المَجمُوعة.
2. النِّظام الوسيط الَّذي يَربُط بين الشَّبكات المَحلِّيَّة وتَنشُط فيه برُوتُوكُولات توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتِيّ.



الشَّكل (5-2): بِنية شَبكة بيانات تَدعَم البثَّ المَجمُوعاتِيّ

تَهتمُّ برُوتُوكولات إدارة المَجمُوعة في الشَّبكات المَحلِّيَّة بتعريف المَجمُوعات وتمييزها بعناوينَ خاصَّةٍ يُحدِّد فضاءَها برُوتُوكُول التَّشبيك المُستخدَم. أمَّا برُوتُوكُولات التَّوجيه فتَعمَل على بناء طُوبُولُوجيا مُكوَّنةٍ مِن مَساراتٍ تَأخُذ شَكل شَجرةٍ مُتفرِّعةٍ تَصِل إلى أعضاء المَجمُوعة كُلِّهم.

يُناقش هذا القِسم خمسة مَفاهِيمَ رئِيسةٍ لِنجاح البثِّ المَجمُوعاتِيّ هي: كيفيَّة إدارة مَجمُوعات الأَعضاء، يَليها أشجار البثِّ المَجمُوعاتِيّ وأَنواعها وكيفيَّة بنائِها ثُمَّ نِطاقات توجيه البثِّ المَجمُوعاتِيّ وأفضية العناوين المُخصَّصة لها في طَبقتي الشَّبكة والوَصلة، وأخيراً، خوارزميَّة توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتِي الَّتي تَعتمِد على المَفاهِيم السَّابِقة.

إدارة المَجمُوعات

تَشمُل إدارة مَجمُوعة أَعضاء البثِّ المَجمُوعاتيِّ النَّشاطات اللَّازِمة لِإنشاء المَجمُوعة في الشَّبكة المَحلِّيَّة وتعريف برُوتُوكُول التَّوجيه الخاصِّ بالبثِّ المَجمُوعاتيِّ على أَعضاء هذه المَجمُوعة في الشَّبكة المَحلِّيَّة ونَشر المَعلُومات الخاصَّة بالمَجمُوعة في الشَّبكة المَحلِّيَّة ومُتابعة تحديثها أَولاً بأَوَّلٍ.

يَلزَم أَيضاً أَن يَكُون المُضِيفون قادِرين على الانضمام آليَّاً إِلى المَجمُوعة لِيُصبحوا أَعضاءً فيها، كذلك الأَمر بالنِّسبة لِلأَعضاء الَّذين يَرغبُون بمُغادرتها. يَلزَم أَيضاً تعريف المُبدِّلات في الشَّبكة المَحلِّيَّة على المَخرَج الافتراضيِّ[238] لِرِزَم البثِّ المَجمُوعاتيِّ، وهُو مَنفَذٌ لِمُوجِّهٍ مَحلِّيٍّ مُتَّصلٍ مع الشَّبكة المَحلِّيَّة يُشغِّل برُوتُوكُول توجيه خاصٍّ بالبثِّ المَجمُوعاتيِّ.

عمليَّة التَّعريف السَّابِقة هي قضيةٌ شائِكةٌ لِأَنَّ المُبدِّلات تَعمَل على مُستوَى الطَّبقة الثَّانِية وَفقاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، وهي لا تَستطِيع تلقائيَّاً تَّمييز أُطُر[239] بيانات البثِّ المَجمُوعاتيِّ وأُطُر التَّحكُّم الخاصَّة بإدارة المَجمُوعات، فتُعامِل الاثنين مُعامَلة أُطُر البثِّ العامِّ، أَي تُرسِلهم عبر مَنافذ المُبدِّل كُلِّها فتَغمُر الشَّبكة بهم غَمراً وتَزيد مِن الحُمُولة فيها. وتُحلُّ هذه المُشكِلة بواحِدة مِن طريقتين:

1. استخدام برُوتُوكُولٍ خاصٍّ لِإنجاز هذه المَهمَّة نحو برُوتُوكُول سِيسكُو لِإدارة المَجمُوعات.
2. تفعيل مِيزاتٍ خاصَّةٍ في المُبدِّل، نحو مِيزة مُراقبة برُوتُوكُول إدارة مجموعة الإنترنت.

وسيُناقش البرُوتُوكُول والمِيزة لاحِقاً في ما سيَأتي مِن هذا الفصل.

شجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ

هي شَجرةٌ مُتفرِّعةٌ[240] مُكوَّنةٌ مِن مَجمُوعةٍ مِن العُقد والوَصلات. تُمثِّل العُقد عَتاد النِّظام الوَسيط العامِلة في الطَّبقة الثَّالِثة وفقاً لِنَمُوذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، أَمَّا الوَصلات، فتُمثِّل الوصلات المادية الَّتي تربط بينها.

يَلزَم أَن تَكُون شجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ خاليةً مِن الحلقات، وأَن تَصِل إِلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم عبر أَقصر المَسارات المُمكِنة، لِذلك، تُوصَف شَجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ بأَنَّها الشَّجرة المُتفرِّعة ذات المَسارات القُصرَى[241].

البِنية

يَختلِف البثُّ المَجمُوعاتيُّ عن البثِّ فريد الوِجهة بشكل المَسار، ففي حين يَكُون المُسار خطَّاً وحيداً يَصِلُ بين مَصدَر الرِّزمة ووِجهتها في البثِّ فريد الوِجهة، فإِنَّه يَأخُذ شكلاً شجريَّاً مُتفرِّعاً في البثِّ المَجمُوعاتيِّ، وتُسمَّى الشَّجرة النَّاتِجة شجرة البثِّ المَجمُوعاتي، وهي تَمتدُّ، مِن غير أَن تُشكِّل حلقاتٍ، لِتَصِل إِلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم.

---

238 أَصل الاسم Default gateway.

239 الأُطُر جمع إِطار، انظر ص. 95 في [BKA03] في ثَبت المَراجِع.

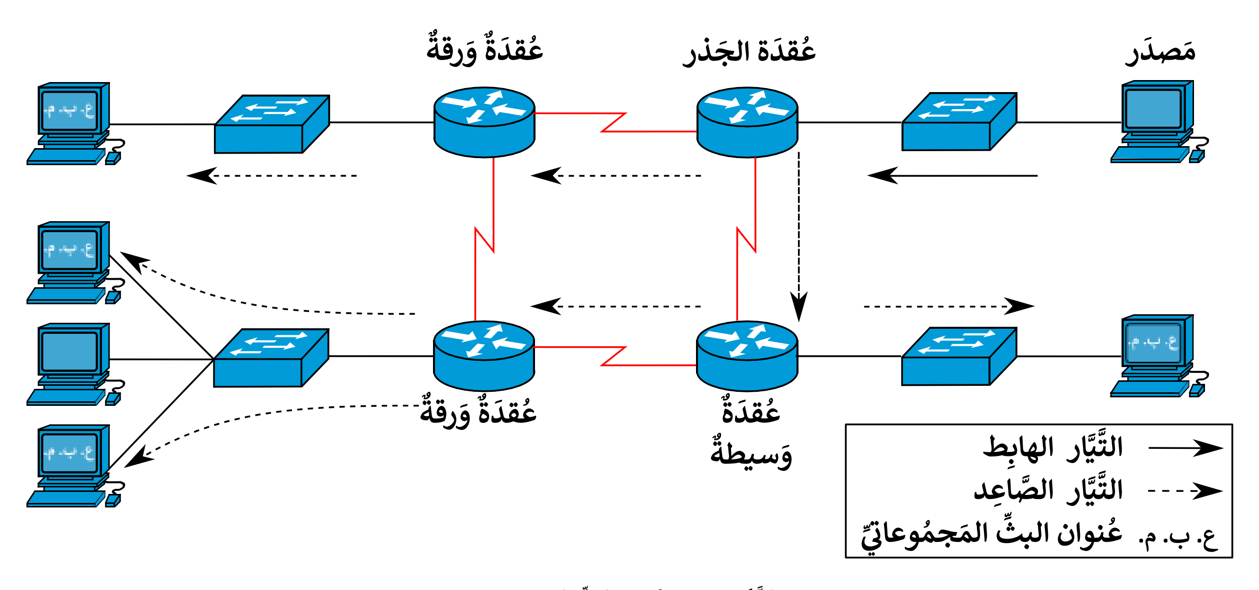
240 أَصل الاسم Spanning tree، وهي بِنية شَبكةٍ خاليةٍ مِن الحلقات، مُكوَّنةٌ مِن مَجمُوعةٍ مِن العُقد إِحداها هي المَبدَأ وتُسمَّى العُقدة الجذر، وهي تَتَّصِل مع سائِر العُقد الأُخرى بمَسارٍ وحيدٍ، غالباً ما يَكُون أَقصرَ المَسارات المُمكِنة. انظر ص. 358 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

241 أَصل الاسم Minimum Spanning Tree، اختصاراً MST، لِلمزيد حول هذه الشَّجرة والمَسأَلة المُرتبِطة بإنشائها انظر [ART24] في ثَبت المَراجِع.

تَتألَّف شجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ مِن مَجمُوعة عُقَدٍ هي الجذر والعُقَد الوسيطة والعُقَد الأوراق. أمَّا عُقدة الجذر، فهي أساس الشَّجرة، ومِنها يَبدَأ التَّفرُّع نحو سائِر العُقَد. تُنسَخ رِزمة البثِّ المَجموعاتيِّ وتُضاعَف، حسب الحاجة، بَدءاً مِن العُقدة الجذر وعبر المَسارات نحو العُقَد الوسيطة والعُقَد الأوراق، وتُسمَّى حركة البيانات صُعُوداً عبر هذه المَسارات بالتَّيَّار الصَّاعِد.[242]

يَنتشِر التَّيَّار الصَّاعِد مِن الجذر إلى العُقد الأُخرَى في الشَّجرة، وتُسمَّى العُقدة الَّتي يَمرُّ التَّيَّار الصَّاعِد نحو عُقدةٍ أُخرَى أو أكثَر، بالعُقدة الوسيطة. أمَّا إذا لم تَكُن العُقدة تَمتَلِك أيَّ عُقَدٍ جيرانٍ، ما خلا العُقدة الَّتي وَرَد مِنها التَّيَّار الصَّاعِد، فإنَّها تُسمَّى عُقدةً وَرَقةً، لِأنَّها لا تُمَرِّر التَّيَّار الصَّاعِد نحو أيِّ عُقدٍ أُخرَى في الشَّجرة.

تَتَّصِل عُقَد الشَّجرة، على اختلاف أنواعها، مع الشَّبكات المَحلِّيَّة حيث يُوجَد أعضاء مَجمُوعات البثِّ المَجمُوعاتيِّ، وهُم طرفياتٌ تَستضيف عناوينَ البثِّ المَجمُوعاتيِّ. لِبدء البثِّ المَجمُوعاتيِّ، يَلعب مُضيفٌ ما، لا يُشترَط أن يَكُون عُضواً في المَجمُوعة، دور مَصدَر رِزم البيانات فيُولِّد رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ ويُرسِلها إلى عُنوان المَجمُوعة، ثُمَّ تُوجَّه نحو العُقدة الجذر دوماً، ولا تَبدأ مُضاعفة الرِّزم ونشرها عبر شجرة البثِّ المَجموعاتيِّ قبل وُصُولها إلى العُقدة الجذر. بما أنَّ الشَّبكات المَحلِّيَّة الَّتي يَتواجَد فيها الأعضاء قد لا تَتَّصِل اتِّصالاً مُباشِراً مع العُقدة الجذر، بل مع عقدٍ أوراقٍ أو مع عُقدٍ وسيطةٍ، فإنَّ بعضاً مِن الرِّزم ستَتجِه اتِّجاهاً مُعاكِسٍ لِلتَّيَّار الصَّاعِد، أي مِن العُقد الأوراق أو الوسِيطة نحو العُقدة الجذر، وتُسمَّى هذه الحركة بالتَّيَّار الهابِط[243] (الشَّكل (5-3)).



الشَّكل (5-3): شَجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ

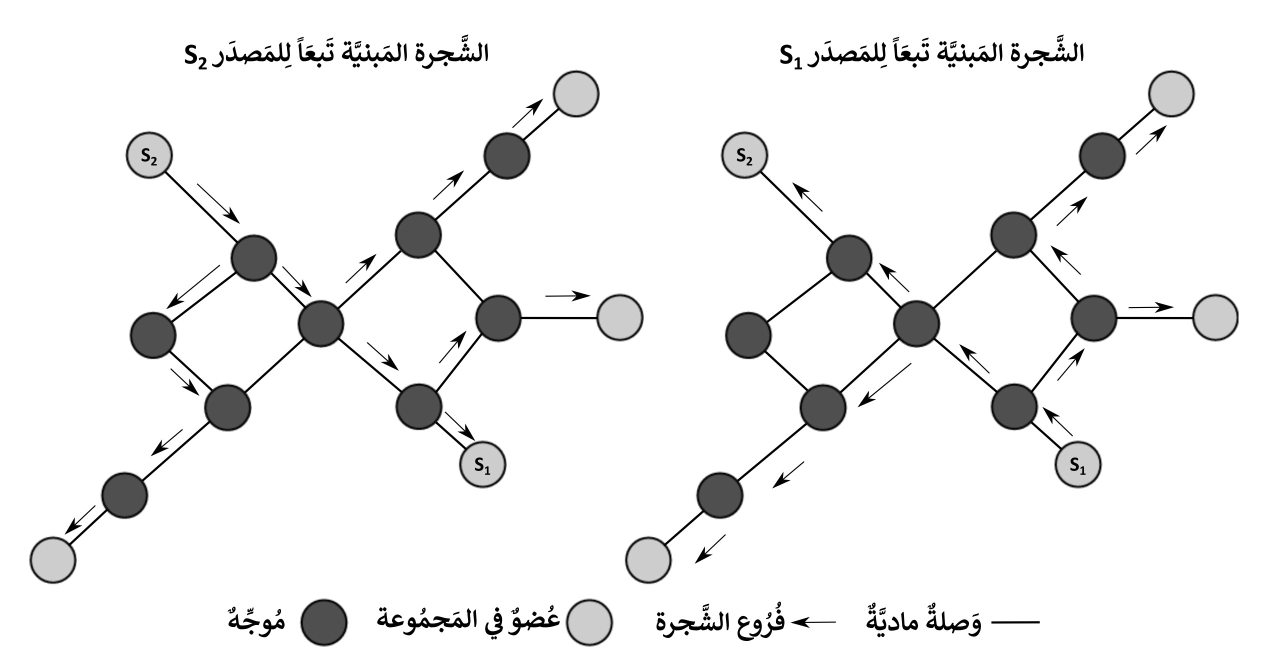
أنواع أشجار البثِّ المَجمُوعاتيِّ

تُصنَّف أشجار البثِّ المَجمُوعاتيِّ حسب طريقة إنشائِها إلى نوعين:

242 أصل الاسم Upstream.

243 أصل الاسم Downstream.

- الشَّجرة المبنيَّة تَبعَاً لِلمَصدَر:[244] وهِي شَجرةٌ مُتفرِّعةٌ خاصَّةٌ بمَصدَرٍ مُحدَّدٍ لِزرم البثِّ المَجمُوعاتيِّ، يَبنيها برُوتُوكُول توجيه رِزم بثٍّ مَجمُوعاتي مِن أَجل كُلِّ مَصدَر لِرزم البيانات، ويَكُون جذر الشَّجرة هُو المُوجِّه الأَقرب إلى المَصدَر. في هذه الحالة، ومِن أَجل بيانٍ[245] ما، لِيكُن G، ومَصدَرين، لِيَكُونا S_1 وS_2، ستُنشَأ شَجرتان هُما (S_1, G) و(S_2, G) (الشَّكل (5-4)). لكنَّ هذه الطَّريقة غير فعَّالةٍ مِن مَنظُور استهلاك عَرض النِّطاق المُتاح وموارد التَّوجيه، فماذا لو وُجِد مِئَة مَصدَرٍ أَو أَكثَر مَثلاً؟ كيف ستُخزَّن المَعلُومات الخاصَّة بالأَشجار عندها؟ وأَين؟ وكيف ستُعالَج؟ وأَين؟



الشَّكل (5-4): شَجرتا بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ مَبنيَّتان حسب مَصدَرين مُختلِفين

- الشَّجرة المُشترَكة[246] أَو الشَّجرة مَركزيَّة النَّواة.[247]: وهِي شَجرةٌ مُتفرِّعةٌ مُوحَّدةٌ مِن أَجل أَعضاء مَجمُوعة البثِّ المَجمُوعاتي كُلِّهم. يُعرِّف برُوتُوكُول التَّوجيه، لِبناء هذه الشَّجرة، نقطة اِلتقاءٍ[248] مِن أَجل كُلِّ مَجمُوعةٍ، وتَكُون هذه النُّقطة هِي جذر الشَّجرة المَشترَكة بين أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم. ويُرسِل كُلُّ مَصدَر بياناتٍ رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ إلى النُّقطة المُشترَكة أَوَّلاً، وبعد أَن تَصِل الرِّزم إليها تَبدَأ عمليَّة النَّسخ والتَّضاعُف حسب شَجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ (الشَّكل (5-5)). في هذه الحالة مِن أَجل بَيانٍ ما G، ومَصدَرين S_1 وS_2، ستُنشَأ شَجرةٌ وحيدةٌ هي $(*, G)$، ويَعني رمز النَّجمة أَنَّ الشَّجرة هي نفسُها أَيّاً كان المَصدَر.

---

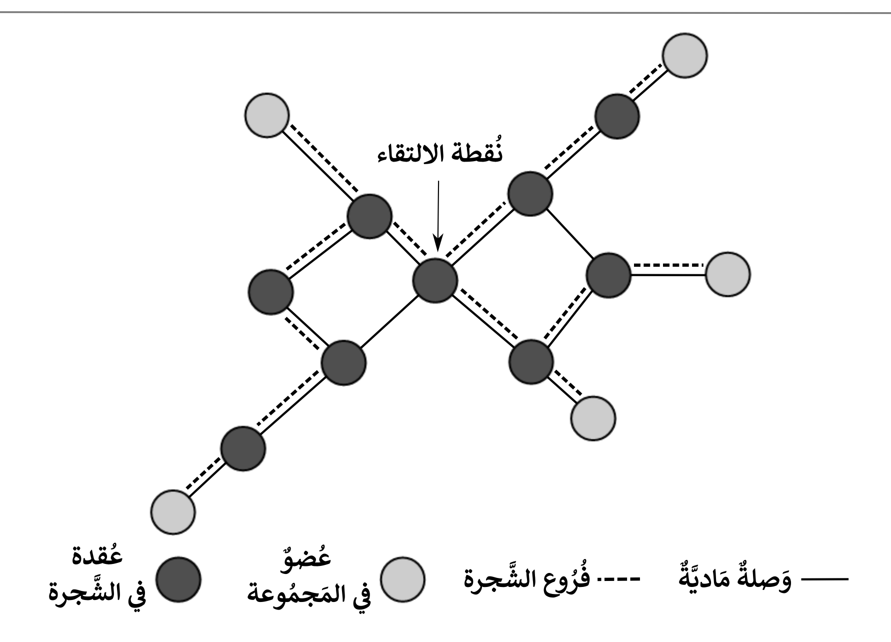
[244] أَصل الاسم Source-based tree، وانظر ما جاء في شأنها في [ART25] في ثَبت المَراجِع.

[245] أَصل الاسم Graph، وَردت مُعرَّبةً في ص. 133 في [BKA01] إلى "مُخطَّط" وفي ص. 34 في [BKA05] إلى "مِبيان"، وفي ص. 507 في [BKA02] إلى "بَيان"، ورَأَينا أَنَّ الأَخير هُو الأَدقُّ والأَوضح. والبَيان هُو بِنيةٌ تَضمُّ مَجمُوعةً مِن الأَغراض الَّتي تَرتبِط بعضُها مع بعضٍ بعلاقاتٍ ما. تُسمَّى الأغراض رؤوساً Vertex أَو عُقداً Node والعلاقات الرَّابِطة بينها وصلاتٍ Edge.

[246] أَصل الاسم Shared tree، انظر ما جاء في شأنها في [ART26] في ثَبت المَراجِع.

[247] أَصل الاسم Core-based tree.

[248] أَصل الاسم Rendezvous point، وRendezvous كَلِمةٌ فرنسيَّةٌ تَعني حرفيّاً: مَلقَى أَو مُلتقَى، انظر ص. 891 في [BKF02] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (5-5): شَجرةٌ مُشترَكةٌ لِرزم البثّ المَجمُوعاتيّ

تُنشئ برُوتُوكُولات التَّوجيه الخاصّة بالبثّ المَجمُوعاتي الأَشجار السَّابِقة لِنقل البيانات إلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم.

خوارزميَّات بناء الأَشجار

هي خوارزميَّات لإنشاء أَشجارٍ مُتفرِّعةٍ لا حلقات فيها. تَتَفرَّع شَجرة البثّ المَجمُوعاتيّ تبعاً لِبيانٍ G_{all} مُكوَّنٍ مِن N_{tot} عُقدةٍ، لِتَصِل إلى مَجمُوعةٍ جُزئيَّةٍ مِن العُقد عَدَدها N_{grp} وهي تُشكِّل أَعضاء مَجمُوعة البثّ المَجمُوعاتيّ.

تُصنَّف الأَشجار المُتفرِّعة حسب امتداد الشَّجرة إلى صَنفين رئِيسين هُما:[249]

- شَجرة التَّفرعات القُصرَى: وهي شَجرةٌ مُتفرِّعةٌ، تَمتَدُّ مِن الجذر نحو مَجمُوعةٍ جُزئِيَّةٍ مِن عُقَد البيان، ويَكُون وَزن المَسار الَّذي يَربُط الجذر مع كُلِّ عُقدةٍ أَقصرَ ما يُمكِن.
- الشَّجرة المُتفرِّعة الصُّغرى: وهي شَجرةٌ مُتفرِّعةٌ تَمتَدُّ مِن الجذر لِتَصِل إلى عُقَد البيان كُلِّها، ويَكُون مَجمُوع أَوزان المَسارات كُلِّها هُو أَصغرُ ما يُمكِن.

إذا كان G_{tot} بَياناً يُمثِّل شَبكة بياناتٍ ويَتكوَّن مِن N_{tot} عُقدةٍ وE_{tot} وَصلةٍ، وكانت G_{grp} مَجمُوعةً جُزئِيَّة مِنه عَدَد عناصِرها N_{grp} لا يَقِلُّ عن اثنين، فإنَّ اختيار خوارزميَّة بناء شَجرة البثّ المَجمُوعاتيّ يَكُون حسب ما يَلي (الشَّكل (5-6)):[250]

---

[249] شجرة التَّفرّعات القُصرَى Shortest-spanning tree، و الشَّجرة المُتفرِّعة الصُّغرى Minimum Spanning Tree، اختصاراً MST.

[250] لِلمزيد حول إنشاء الأَشجار وأفضل الخوارزميَّات المُعتمَدة لإنجاز حساباتها، انظر [BKE05] في ثَبت المَراجِع.

- إذا كان عَدَد العناصر في المَجمُوعة الجُزئيَّة هُو $N_{grp} = 2$، فإنَّ الشَّجرة تَؤُول إِلى مَسارٍ خطيٍّ بين عُقدتين، بحالة مُشابِهة لِمَسارات الرِّزم فريدة الوِجهة، والأَفضل في هذه الحالة استعمال خوارزميَّة ديكسترا[251] أَو خوارزمية بِيلمان وفُورد[252].
- إذا كان عَدَد العناصر في المَجمُوعة الجُزئيَّة هُو نفسُه عَدَد عناصر البَيان، أي $N_{grp} = N_{tot}$، أَي أَنَّ الشَّجرة تَمتَدُّ إِلى عناصر البَيان كُلِّهم، فالشَّجرة المُراد بناؤُها هي شَجرةٌ مُتفرِّعةٌ صُغرى، ومِن الخوارزميَّات المُناسِبة لذلك خوارزميَّة كرُوسْكَال[253] وخوارزميَّة پرِيم[254].
- إذا كان عَدَد العناصر في المَجمُوعة الجُزئِيَّة أكبرَ مِن 2، ولكنَّه أَقلُّ مِن عَدَد عناصِر البَيان أَي: $2 < N_{grp} < N_{tot}$، أَي أَنَّ الشَّجرة تَمتدُّ على مَجمُوعةٍ جُزئِيَّةٍ مِن العُقد، فإِنَّها تُسمَّى شَجرة شتاينر،[255] وهي الحالة الأَكثر تعقيداً في بناء الشَّجرة بسبب وجُود مَساراتٍ عديدةٍ مُحتمَلةٍ.

---

[251] نسبةً إلى إِيدسخِر دِيكسترَا Edsger Dijkstra (1930-2002م)، وهُو عالِم حاسُوبٌ هُولنديٌّ حَصل على درجة البَكَالُوريُوس في الفيزياء النَّظريَّة مِن جامِعة لايدن في مَطلع خمسينيَّات القرن العشرين، وعلى درجة المَاچستير مِنها أَيضاً في الاختصاص نفسِه في عام 1956م وعلى درجة الدُّكتُورَاه في عِلم الحاسُوب في عام 1959م مِن جامعة أَمِستردَام. دِيسكترَا مِن الرُّوَّاد المُؤَسِّسين لِعِلم الحاسُوب وله أَبحاثٌ رائِدة في أَنظمة التَّشغيل ولُغات البرمجة والمُحوِّلات البرمجيَّة والحوسبة مِنها خوارزميَّة دِيكسترَا الَّتي سُميت على اسمه وهي خوارزميَّةٌ لِإيجاد المَسارات القصرَى بين مَجمُوعةٍ مِن العُقَد في بَيانٍ ما، انظرها في [ART26] ثَبت المَراجِع.

[252] نسبةً إلى رِيتشَارد بِيلمَان Richard Bellman (1920-1984م) ولِيستِر فُورد Lester Ford (1927-2017م). أمَّا بِيلمَان فهُو رِياضيٌّ أمريكيٌّ حاصِلٌ على درجة الدُّكتُورَاه في الرِّياضيات في عام 1947م مِن جامِعة پرِينستُون، له إسهاماتٌ عديدةٌ أَهمُّها في مجال البرمجة الحركيَّة. وأَمَّا فُورد فهُو رياضيٌّ أَمريكيٌّ حاصِلٌ على درجة الدُّكتُورَاه في الرِّياضيَّات في عام 1953م مِن جامِعة إِلينُوي في أُوربانا شامبِين، وله إِسهاماتٌ بارِزةٌ في نظرية البَيان. نشر كُلٌّ مِن بِيلمَان وفُورد بشكلٍ مُترامِن ومُستقِلٍّ خوارزميَّةً دُعيت باسمهما لِحساب المَسارٍ الأَقصر المُمكِن مِن عُقدةٍ ما في بَيانٍ نحو أيِّ عُقدةٍ أُخرَى فيه. انظر عمل بِيلمان في [ART28] في ثَبت المَراجِع وعمل فُورد في [ART29].

[253] نسبةً إلى جُوزِيف كرُوسْكَال Joseph Kruskal (1928-2010م)، هُو رياضيٌّ وعالِم إحصاءٍ وعالِم حاسُوبٍ أَمريكيٌّ حصل مِن جامعة شيكاگو على درجة البَكَالُوريُوس في الرِّياضيات في عام 1948 وعلى درجة المَاچستير فيها في العام التَّالِي، وحَصل في عام 1954م على درجة الدُّكتُورَاه في الرِّياضيَّات مِن جامِعة پرِينستون. لدى كرُوسْكَال أَبحاثٌ رائِدةٌ في نظرية البَيان وحِساب الأَشجار أَهمُّها تطويره لِخوارزميَّة كرُوسْكَال الَّتي سُميَت على اسمه وهي خوارزميَّةٌ لِإيجاد الشَّجرة المُتفرِّعة الصُّغرَى في بَيانٍ غير مُوجَّهٍ مَوزُون الوَصلات، انظرها في [ART30] في ثَبت المَراجِع.

[254] نسبةً إلى روبرت پريم Robert Prim (1921م-...)، هُو عالِم حاسُوبٍ ورياضيٌّ أمريكيٌّ حَصل على درجة البكالوريوس في الهندسة الكهربائيَّة في سنة 1941م مِن جامِعة تكساس في أُوستن وعلى درجة الدُّكتُورَاه في الرِّياضيَّات في عام 1949م مِن جامِعة پرِينستون. أَعاد پريم في عام 1957م اكتشاف خوارزميَّة إيجاد شجرةٍ مُتفرِّعةٍ صُغرَى في بيَانٍ غير مُوجَّهٍ مَوزُون الوَصلات طَوَّرها رِياضيٌّ تشيكيٌّ يُدعَى فُوچِيتِيش يَارنِيك (بالتَّشيكيَّة:Vojtěch Jarník) في عام 1930م، ونَشرها پرِيم فسُمِّيت باسمه، انظرها في [ART31] في ثَبت المَراجِع.

[255] نسبةً إلى چَاكوب شتاينر Jakob Steiner (1796م-1863م)، وهُو عالِم رياضيَّاتٍ سويسريٌّ دَرس في جامِعة هايدلِبرگ، له إِسهاماتٌ عديدةٌ في الهندسة الإِقليديَّة أَهمُّها طَرحه لِمُشكِلة البحث عن المَسار الأَقصر مُمكِن يَصِل إِلى مَجمُوعةٍ جُزئِيةٍ مِن العُقد في بَيان ما، والَّتي عُرِفت لاحِقاً باسم مَسأَلة شجرة شتاينر الإِقليديَّة، لِلمزيد حول هذه المَسأَلة انظر [BKE06] في ثَبت المَراجِع.

نِطاق التَّوجيه

نِطاق التَّوجيه الخاصُ بالبثِّ المَجمُوعاتِيِّ[256] هُو مَجمُوعةٌ مِن الطَّرفيّات والأنظمة الوَسيطة المَوجُودة ضِمن نِظامٍ مُستقلٍّ[257] واحِدٍ والَّتي تَعمل وَفقاً لِإجراءَات التَّوجيه نفسِها، أَي تُعرِّف أَوزان المَسارات[258] تعريفاً مُحدَّداً وتَعتمِد آليّاتٍ مُشترَكةً لِحسابها.

في وثائِق طلب التَّعليقات المُتعلِّقة بالبثِّ المَجمُوعاتِيِّ تعاريفُ جُزئِيَّةٌ أَو مُشتقَّةٌ عن التَّعريف السَّابِق لِنِطاق توجيه البثِّ المَجمُوعاتِيِّ نحو: «مَجمُوعة جداول التَّوجيه الَّتي تَتَضمَّن بُنُوداً عن البثِّ المَجمُوعاتِيِّ، والَّتي تَرتبِط بعضُها مع بعضٍ عبر الشَّبكة وهي قادِرةٌ على تبادل المَعلُومات في ما بينها»[259] و«مَجمُوعةٌ مِن المُوجِّهات المُتجاوِرة الَّتي تُشغِّل برُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتِيِّ نفسِه وتعمل ضِمن حدودٍ مُعيَّنةٍ يُعرِّفها مُوجِّهٌ حُدوديٌّ يَربُط النِّطاق مع الإنترنِت».[260]

تَعمَل برُوتُوكُولات توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتِيِّ داخِل نِطاقٍ مُحدَّدٍ فتُوصَف بأنَّها داخليَّةٌ أَو بين النِّطاقات المُختلِفة فتُوصَف بأنَّها خارِجيَّةٌ أَو بينِيَّةٌ، وبعضها يدعم النمطين. وفقاً لِمَبدَأ العمل، يُقابِل برُوتُوكُولُ توجيهٍ لِرزم البثِّ المَجمُوعاتِيِّ عامِلٌ ضِمن النِّطاق برُوتُوكُولَ توجيهٍ داخِليٍّ لِرزم بثٍّ فريد الوِجهة يَعمَل ضِمن نِظامٍ مُستقلٍّ واحِدٍ.[261]

مَجالات العنونة

البثُّ المَجمُوعاتِيُّ هُو آليَّةٌ لِتوجيه رِزم البيانات عبر الشَّبكة، وحسب نَمُوذج الرَّبط البينِيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، فإِنَّ التَّوجيه يَحصُل على مُستوَى الطَّبقة الثَّالِثة، ويَتطلَّب مُشاركةً مِن كِيانات الطَّبقة الثَّانِية لِإنجاحه، وهاتان الطَّبقتان هُما طَبقة الوَصلة وطَبقة الشَّبكة وفقاً لِترتيب ورودهما في النَّموذَج.

يَلزَم أَن تَدعَم برُوتُوكُولات التَّشبيك في طَبقة الشَّبكة وبرُوتُوكُولات الوَصلة في طَبقة الوَصلة فضاءً مِن العناوين مُختصَّاً بالبثِّ المَجمُوعاتِيِّ، بالإضافة لِضرورة وجُود آليَّةٍ لِلمُطابقة بين عناوين فضاءَي الطَّبقتين.

طَبقة الشَّبكة

خُصِّص الصَّنف D، في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، لِيَكُون فضاءً لِعناوين البثِّ المَجمُوعاتِيِّ، وهُو فضاءٌ جُزئِيٌّ يَشمُل عناوينَ الإصدار الرَّابِع الَّتي تَبدَأ بالبِتات الأَربعة 1110 في خانتها الأُولَى الأَكثرِ أَهمِّيَّةً، ويَعني ذلك أَنَّ هذا المَجال يَمتَدُّ بين العُنوانين 224.0.0.0 و239.255.255.255، ويُشار له رَقميَّاً بالشَّكل 224.0.0.0/4.

[256] أَصل الاسم Multicast Routing Domain.

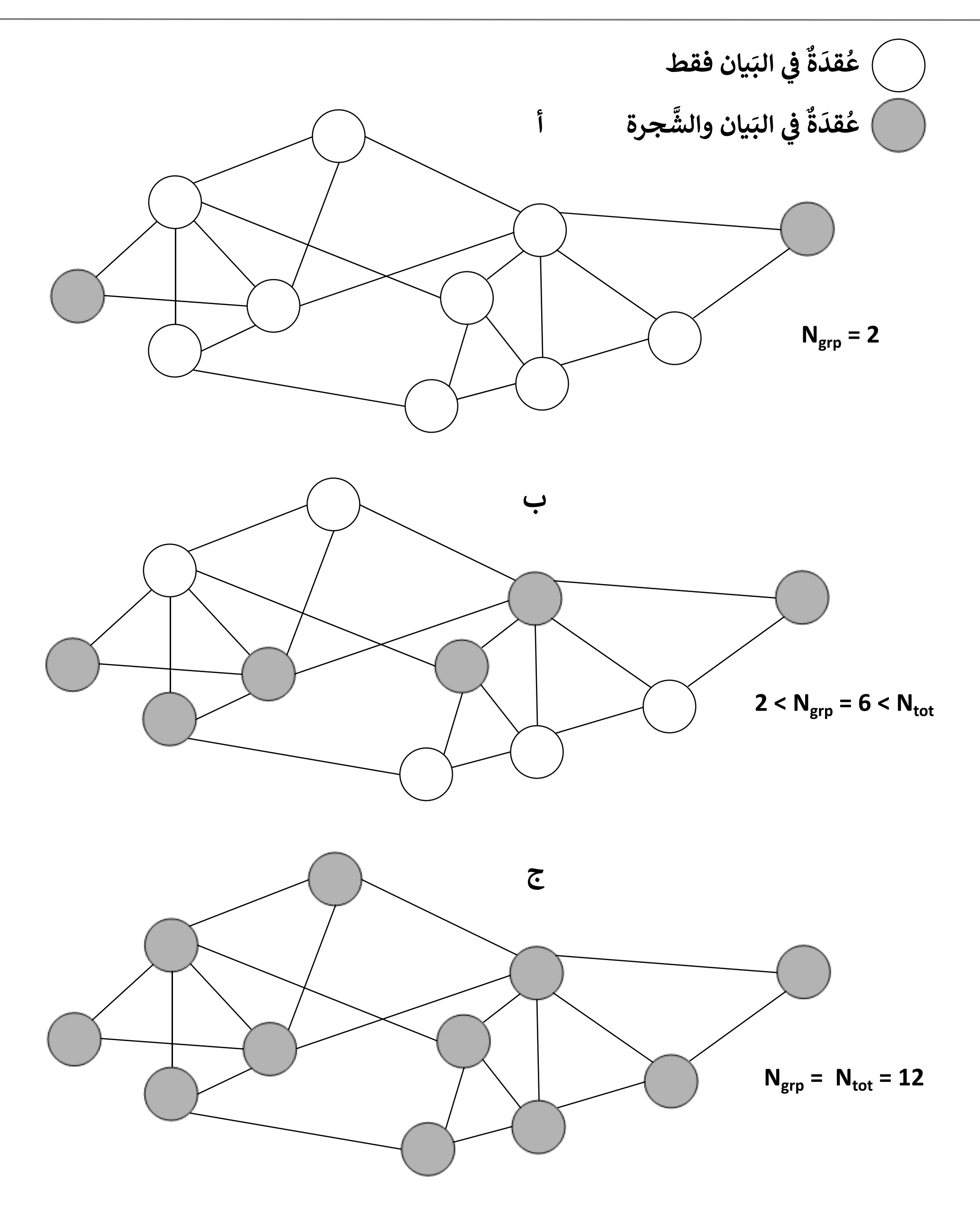
[257] أَصل الاسم Autonomous System، اختصاراً AS، هُو مَجمُوعةٌ مِن المُوجِّهات الَّتي تَخضَع لِإشرافٍ إداريٍّ واحِدٍ، وتَستعمِل برُوتُوكُول توجيهٍ داخِليَّاً واحِداً، وتُعرِّف أَوزان المَسارات تعريفاً مُشترَكاً، وتَعتمِد على برُوتُوكُول توجيهٍ خارِجيٍّ واحِدٍ لِتوجيه رِزم البيانات إلى الأَنظمة الأُخرَى، انظر النَّصَّ الأَصيل لهذا التَّعريف في ص. 3 في [RFC1930] في ثَبت المَراجِع.

[258] أَصل الاسم Metric، هُو قِيمةٌ كمِّيَّةٌ تُستخدَم لِتقييم كُلفة المَسار، وتُستعمَل مِن أَجل إيجاد أَساسٍ لِلمُقارنة بين المَسارات. لا طريقةَ مُوحَّدةً لدى برُوتُوكُولات التَّوجيه لِتعريف الأَوزان. مِن أَجل أَصل هذا التَّعريف انظر ص. 4 في [RFC6551] في ثَبت المَراجِع.

[259] مِن أَجل النَّصِّ الأَصيل لهذا التَّعريف، انظر ص. 7 في [RFC6037] في ثَبت المَراجِع.

[260] مِن أَجل النَّصِّ الأَصيل لهذا التَّعريف، انظر ص. 7 في [RFC2362] في ثَبت المَراجِع.

[261] انظر التَّعاريف والمُصطلَحات الخاصَّة ببرُوتُوكُولات التَّوجيه في ص.1-4 في [RFC1136] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (5-6): الحالات المُختلِفة لِاختيار خوارزميَّة حِساب الشَّجرة المُتفرِّعة: أ) عَدَد العُقَد 2 ب) عَدَد العُقَد أكبرُ مِن 2 وأَقلُّ مِن عَدَد العُقَد الإجماليِّ في البَيان ج) الشَّجرة تَمتَدُّ لِتشمُل عُقَد البَيان كُلِّها

تُدير هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة عمليَّة حَجز عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، فتُخصِّص عناوينَ مُحدَّدةً لِبعضٍ من البرُوتُوكُولات والخِدمات حسب الحاجة،[262] ويُظهِر الجدول (5-1) قائِمةً فيها بعضٌ مِن العناوين المَحجُوزة مِن فضاء الإصدار الرَّابِع مع بيان استعمالها.

طَبقة الوَصلة

يَنشُط في هذه الطَّبقة عَدَدٌ مِن برُوتُوكُولات الوَصلة كما جاء في الفصل الأَوَّل مِن هذا الكِتاب. ولكِي تَدعَم هذه البرُوتُوكُولات البثَّ المَجمُوعاتيَّ يَلزَم ما يَلِي:

[262] انظر [WEB03] مِن أَجل قائِمة عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ وأَفضيته المَحجُوزة في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

الجدول (5-1): بعضٌ مِن عناوين مَجمُوعات البثِّ المَجمُوعاتيِّ في فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

اسم المَجمُوعة	العُنوان
مَجمُوعة كُلُّ العُقَد في الشَّبكة	224.0.0.1
مَجمُوعة كُلُّ المُوجِّهات	224.0.0.2
مَجمُوعة المُوجِّهات المُشغِّلة لبرُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتي تَبعاً لِشُعاع المَسافة	224.0.0.4
مَجمُوعة المُوجِّهات المُشغِّلة لِبرُوتُوكُول المَسار الأَقصر	224.0.0.5، 224.0.0.6
مَجمُوعة المُوجِّهات المُشغِّلة لِبرُوتُوكُول مَعلُومات التَّوجيه[263]	224.0.0.9
مَجمُوعة المُوجِّهات المُشغِّلة لِبرُوتُوكُول التَّوجيه المُحسَّن بين البوَّابات الدَّاخِليَّة	224.0.0.10
مَجمُوعة مُخدِّمات وُكلاء التَّحويل لِبرُوتُوكُول تهيئَة المُضيف الآليَّة	224.0.0.12
مَجمُوعة برُوتُوكُولات البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُستقِلِّ عن برُوتُوكُول التَّوجيه	224.0.0.13

1. أن تُعرِّف فضاءً مِن عناوين برُوتُوكُول الوَصلة، وتُخصِّصه لِلبثِّ المَجمُوعاتيِّ فيُصبِح لِكِيانات هذه الطَّبقة الَّتي تَدعَم البثَّ المَجمُوعاتيَّ مُعرِّفاتٌ فريدةٌ.
2. أن تَدعَم آليَّةً لِرَبط أَزواجٍ مِن عناوينِ البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُستعمَلة في طَبقتي الشَّبكة والوَصلة بعضُها مع بعضٍ.

تُعرِّف معايير برُوتُوكُولات الوصلة المُختلِفة فضاء العناوين المُخصَّص للبثِّ المَجمُوعاتيِّ وتُحدِّد آليَّة المُطابَقة مع عُنوان برُوتُوكُول التَّشبيك.[264] وستُعرَض حالة برُوتُوكُول الإيثرنِت[265] في ما سيَأتي على سبيل المثال لا الحصر. والإيثرنِت هُو برُوتُوكُول وَصلةٍ سِلكيٌّ يَدعَم البثَّ المَجمُوعاتيَّ، يَتحدَّد فضاء عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ خاصَّته المُستعمَل لِلمُطابقة مع عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ الخاصَّة بالإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت كما سيَأتي:

- يُعرِّف برُوتُوكُول الإيثرنِت فضاءَ عنونةٍ يَبلُغ طُول العُنوان فيه 48 بتاً، ويُسمَّى عُنوان تحكُّم بالنَّفاذ لِلوسط،[266] ويَكُون ذا بِنيةٍ مُكوَّنةٍ مِن 6 خاناتٍ في كُلٍّ مِنها 8 بتاتٍ. يُكتَب مُحتوَى كُلِّ خانةٍ بِنظام العدِّ سِتة العَشريِّ، فتُمثَّل كُلُّ خانةٍ برقمين سِتة عَشريَّين، وتَفصُل بين كُلِّ خانتين مُتتالِيتين شريطةٌ أُفقيَّةٌ. على سبيل المثال، 00-11-aa-bb-cc هُو عُنوان إيثرنِت.

[263] أَصل الاسم Routing Information Protocol، اختصاراً RIP، لِلمزيد انظر [RFC2453] في ثبت المَراجِع.

[264] انظر مثلاً [RFC1390] في ثَبت المَراجِع لاستعمال البثِّ المَجمُوعاتيِّ في الشَّبكات الَّتي تَدعَم الواجهة البينيَّة لِلبيانات المُوزَّعة بالأَلياف Fiber Distributed Data Interface اختصاراً FDDI، و[RFC1469] لِاستعماله مع برُوتُوكُول حلقة الرَّمز Token-Ring.

[265] انظر ص. 120 في [STD03] في ثَبت المَراجِع.

[266] أَصل الاسم Medium Access Control، اختصاراً MAC.

- يُحدِّد مِعيارٌ آخرُ[267] فضاء عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ الخاصَّ بالإيثرِنت على أنَّه فضاءٌ جُزئيٌّ مِن العناوين الَّتي تَتَميَّز بأنَّ قِيمة البت الأَقلِّ أَهمِّيَّةً في الخانة الأَكثر أَهمِّيَّةً فيها مُساويةٌ لِلواحِد. أَي أَنَّ: 01-00-00-00-00-00 هُو عُنوان إيثرِنت لِلبثِّ المَجمُوعاتيِّ.
- يُخصَّص فضاءٌ جُزئِيٌّ مِن فضاء البثِّ المَجمُوعاتي ويُستعمَل فقط إذا كان بروتُوكُول الإنترنِت هُو بروتُوكُول التَّشبيك المُستعمَل في طَبقة الشَّبكة، ويَمتدُّ هذا الفضاء على المَجال الَّذي يَبدَأ بالعُنوان: 01-00-5e-00-00-00 ويَستمرُّ حتَّى العُنوان 01-00-5e-7f-ff-ff.[268]

أَما لِإيجاد عُنوان الإيثرِنت المُقابِل لِعُنوان مَجمُوعةٍ لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت فتُستخدَم الخوارزميَّة التَّالية:

1. كِتابة عُنوان المَجمُوعة الخاصِّ بالإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ.
2. إهمال البتات التِّسعة الأُولى بدءاً مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّةً في الخانة الأَكثر أَهمِّيَّةً، ونقل البِتات الثَّلاثة والعُشرون المُتبقيَّة إلى المرحلة التَّالِية.
3. إضافة بتٍ واحِدٍ إلى يسار البِتات السَّابِقة، لِيُصبِح العَدَد الإجماليُّ 24 بتاً، يُضبَط هذا البت إلى القِيمة 0 في حال كان الإطار سيُرسَل في شَبكةٍ تُشغِّل الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وإلى القِيمة 1 في الحالات الأُخرى.
4. تُنقَل البتات الأَربعة والعُشرون إلى ستَّة أَعدادٍ سِتَّ عشريَّةٍ هُم أَعضاء المَجمُوعة $\{X_1، X_2، X_3، X_4، X_5، X_6\}$، وفيها X_1 هُو العَدَد السِّت عَشريِّ الَّذي يُمثِّل البتات الأَربعة الأَكثر أَهمِّيَّةً في الخانة الأَكثر أَهمِّيَّةً، وX_2 هُو العَدَد السِّتة عَشريُّ المُوافِق لِلبِتات الأَربعة التَّالِية في الأَهمِّيَّة وهكذا، ثُمّ تُكتَب أَزواجاً يَفصُل بينها إشارة شريطةٍ أُفقيَّةٍ، أَي "-"، بالشَّكل التَّالِي: X_1X_2-X_3X_4-X_5X_6.
5. تُضاف لاحِقةٌ سِتة عَشريَّةٌ مُكوَّنةٌ مِن ثلاثة بايتاتٍ هي 01-00-5e، إلى يسار الأَعداد السَّابِقة، فيَنتُج عُنوان التَّحكُّم بالنَّفاذ لِلوسط المَطلُوب.

مثلاً، لو كان عُنوان المَجمُوعة هُو 224.0.0.10، تُنفَّذ الخوارزميَّة السَّابِقة بالشَّكل التَّالِي:

1. نقل العُنوان إلى نِظام العدِّ الثُنائِيِّ، فتَكُون النَّتيجة:

1110 0000 . 0000 0000 . 0000 0000 . 0000 1010

2. إهمال البِتات التِّسعة الأُولَى الأَكثر أَهمِّيَّةً، أَي الخانة الأُولَى كامِلةً والبت الأَكثر أَهمِّيَّةً في الخانة الثَّانِية، ثُمَّ نقل سائِر البِتات الثَّلاثة والعُشرين (تَظهَر بالخطِّ الغليظ في الأَسفل) إلى المرحلة التَّالِية.

1110 0000 . 0**000 0000** . **0000 0000** . **0000 1010**

---

[267] انظر ص. 21 في [STD04] في ثَبت المَراجِع.

[268] يَتحدَّد هذا المَجال ببادِئةٍ طُولُها 24 بتاً تُسمَّى مُعرِّف المُنظَّمة الفريد Organizationally Unique Identifier، اختصاراً OUI، وقِيمتها في هذه الحالة هي 01-00-5e. وقد خَصَّص مَعهد مُهندِسي الكهرباء والإلكترونيَّات Institute of Electrical and Electronics Engineers، اختصاراً IEEE، هذه القِيمة لِهَيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصَة، لِلمزيد حول ذلك انظر ص. 5 في [RFC5342]

3. إضافة بتٍ قِيمته 0 إلى يسار النَّاتِج فيُصبح طُوله 24 بتاً:

0 >> 000 0000 . 0000 0000 . 0000 1010

0000 0000 . 0000 0000 . 0000 1010

4. نقل النَّاتِج إلى نِظام العدِّ سِتة العَشريّ، وكِتابته كِتابةً مُناسِبةً:

00-00-0a

5. إضافة النَّاتِج إلى يمين البادِئة 01:00:5e كما سيَأتي:

01-00-5e << 00-00-0a

فيَكُون النَّاتِج النِّهائِيُّ:

01-00-5e-00-00-0a

توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ

التَّوجيه هُو تحديد مَسار رِزمة البيانات ونقلها مِن مَصدَرها إلى وِجهتها. أَمَّا توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ فهُو تحديد شَجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ الخاصَّة بالمَجمُوعة، ثُم نقل الرِّزمة عبر فُرُوع هذه الشَّجرة حسب مَبدَأ "مَصدَرٌ وَحيدٌ ووِجهاتٌ عديدةٌ"، ونسخها ومُضاعفتها في أَثناء ذلك حسب الحاجة، لِتَصِل في نهاية المَطاف إلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم.

تُوجَّه كُلُّ رِزمةٍ توجيهاً مُنفرِدٍ حسب مَبدَأ تبديل الرِّزم، ويُمكِن تقسيم العمليَّة إلى مَرحَلتين مُنفصِلتين مُتتابِعتين:

1. المَرحلة الأُولى: تَبدَأ في مَصدَر الرِّزمة وتَستمِر عبر الشَّبكة حتَّى وصُول الرِّزمة إلى جذر شجرة البثِّ المَجمُوعاتِيِّ.
2. المَرحلة الثَّانِية: تَحصُل ضِمن النِّظام الوسيط الَّذي تمرُّ شجرة البثِّ المَجمُوعاتِيِّ عبره حيث تُضاعِف المُوجِّهات، بَدءاً مِن الجذر، رِزمة البيانات وتَنقُلها عبر فُرُوع الشَّجرة لِتَصِل إلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم.

انطلاقاً مِن المَصدَر، تُوجَّه رِزمة البثِّ المَجمُوعاتي بالشَّكل التَّالِي:

1. يُولِّد كِيان برُوتُوكُول التَّشبيك العامِل على مُستوَى طَبقة الشَّبكة في مَصدَر الرِّزمة، والَّذي لا يُشترَط به أَن يَكُون عُضواً في مَجمُوعة البثِّ المَجمُوعاتي، رِزمة بياناتٍ، ويَكُون عُنوان الوِجهة فيها هُو عُنوان المَجمُوعة الهدف.
2. يَنتقل العمل إلى كِيان طَبقة الوَصلة الَّذي يُشغِّل برُوتُوكُول وَصلةٍ يَحسِب عُنوان المَجمُوعة على مُستوَى طَبقة الوَصلة المُتوافِق مع عُنوان المَجمُوعة المَوجُود في الرِّزمة، ثُمَّ تغلَّف الرِّزمة بعد ذلك ضِمن إطار بياناتٍ مُرسَلٍ نحو العُنوان المَحسُوب.
3. يُرسَل إطار البيانات عبر الشَّبكة.
4. تُضاعِف مُعدَّات الشَّبكة المَحلِّيَّة الإطار لِيَصل إلى أَعضاء المَجمُوعة في الشَّبكة المَحلِّيَّة كُلِّهم، ويَشمُل ذلك المُوجِّهات التي تَدعم البثَّ المَجمُوعاتيَّ المُتَّصِلة مع الشَّبكة، إن وُجِدت، وإن لم تُوجَد، تَنتهِي عمليَّة التَّوجيه.
5. يَستقبِل المُوجِّه إطار البيانات، ويَتحقَّق مِن وُصُوله سليماً مِن غير أَخطاءٍ في النَّقل، ثُمَّ يَفكُّ تغليف الإطار ويَستخرِج رِزمة البيانات. في حال وجُود أَخطاءٍ يَتخلَّص المُوجِّه مِن الإطار، وتَنتهِي عمليَّة التَّوجيه.

6. يَقرَأ المُوجِّه عُنوان وِجهة الرِّزمة، وتَتَعرَّف على عُنوان المَجمُوعة وتُحدِّدها.
7. يُتحقق المُوجِّه الَّذي استقبل الرِّزمة مِن كَونِه جذراً لِشَجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ الخاصَّة بالمَجمُوعة المُحدَّدة، ولا يُشترَط أَن يَكُون المُوجِّه الأَوَّل الَّذي تَصِله الرِّزمة في النِّظام الوسيط هُو جَذر الشَّجرة. في الحالة الَّتي يَكُون المُوجِّه فيها جذراً لِلشَّجرة، يُنتَقل إِلى الخَطوة الثَّامِنة مِن الخوارزميَّة مُباشَرةً، أَمَّا بخلاف ذلك، فتُعامَل الرِّزمة حسب الخُطوات التَّالِية:
   أ. اتخاذ قرار التَّوجيه بإِرسال الرِّزمة نحو الجذر.
   ب. تغليف الرِّزمة ضِمن إِطارٍ جديدٍ مُناسِبٍ.
   ت. إِرسال الرِّزمة عبر النِّظام الوسيط نحو جذر الشَّجرة، وتَكُون الرِّزمة في هذه الحالة جُزءاً مِن التَّيَّار الهابِط، لِأَنَّها تَتَحرَّك نحو الجذر.
   ث. يُعيد كُلُّ مُوجِّهٍ يَستقبِل الإِطار الخَطوات السَّابِقة بدءاً مِن الخَطوة الخامِسة.
8. يُتَّخذ قرار توجيهٍ، بعد وُصُول الرِّزمة إِلى الجذر، بإِرسالها عبر شَجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ، وتَبدَأ عمليَّات نَّسخ الرِّزمة ومُضاعفتها، حسب الحاجة، لِنشرها عبر فُرُوع الشَّجرة.
9. تُغلَّف كُلُّ رِزمةٍ مِن الرِّزم النَّاتِجة عن التَّضاعُف تغليفاً مُناسِباً، فتَنتُج مَجمُوعةٌ مِن أُطر البيانات الَّتي ستُرسَل عبر فُرُوع الشَّجرة، لِتَصِل إِلى العُقد الأَوراق كُلِّها.
10. يُرسَل كُلُّ إِطارٍ إِرسالاً مُستقلَّاً لِيَسلُك أَحد الفُرُوع حسب قرار التَّوجيه السَّابِق، وتُصنَّف حركة الأُطُر ضِمن التَّيَّار الصَّاعِد، لأَنَّها تَتَحرَّك مُبتَعدةً عن الجذر.
11. عندما يَصِل الإِطار إِلى العُقَد التَّالِية في الشَّجرة، يَتَحدَّد سُلُوك العُقدة حسب نوعها:
   أ. يُفكّ تغليف الرِّزمة في العُقَد الوسيطة، ثُمَّ يُتَّخذ قرار توجيهٍ بإِرسالها عبر فُرُوع الشَّجرة، ومُضاعفتها حسب القرار، ثُمّ تُغلَّف الرِّزم النَّاتِجة ضِمن أُطُرٍ جديدةٍ مُناسِبةٍ لِقرار التَّوجيه، وتُرسَل الأُطُر عبر الفُرُوع حسب القرار، وتُعاد هذه الخَطوة في العُقَد التَّالِية الَّتي تَستقبِل هذه الأُطُر.
   ب. يُتَّخذ قرار توجيهٍ في العُقَد الأَوراق بنقل الرِّزمة إِلى الشَّبكات المَحلِّيَّة ثُمَّ تُعاد الخَطوة الرَّابِعة فيها فقط.

برُوتُوكُولات البثِّ المَجمُوعاتيِّ

يَتَّطلَّب نجاح البثِّ المَجمُوعاتيِّ عمل عائِلتين مِن البرُوتُوكُولات معاً:

- عائِلة برُوتُوكُولات إدارة مَجمُوعات البثِّ المَجمُوعاتيِّ، وتَهتمُّ بالعلاقات الَّتي تَربُط الأَعضاء بالمَجمُوعة، نحو الانضمام إِليها أَو مُغادرتها، وكيفيَّة نشر المَعلُومات الخاصَّة بأَعضاء المَجمُوعة في الشَّبكة المَحلِّيَّة. تَنشُط برُوتُوكُولات إدارة المَجمُوعة في الشَّبكات المَحلِّيَّة، وبالتَّحديد بين المُضيفين وبين المُوجِّهات، ويَكُون اهتمامها مُوجَّهاً لِبناء المَجمُوعات والمُحافظة عليها.
- عائِلة برُوتُوكُولات توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ، تَهتَمُّ بإِنشاء أَشجار البثِّ المَجمُوعاتيِّ وتحديثها باستمرارٍ. تُحدِّد هذه الأَشجار مَسار رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ عبر النِّظام الوسيط مِن المَصدَر وصُولاً إِلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم.

وتُناقِش الفقرات القادِمة في هذا القِسم بعضاً مِن الأَمثلة عن برُوتُوكُولات المَجمُوعتين.

برُوتُوكُولات إدارة المَجمُوعات

هي مَجمُوعةٌ مِن البرُوتُوكُولات النَّاشِطة في الشَّبكة المَحلِّيَّة، تُشرِف على الوظائِف الخاصَّة بالمَجمُوعة والَّتي تَشمُل انضمام الأَعضاء إليها ومُغادرتهم لها، بالإضافة إلى نشر المَعلُومات الخاصَّة بأَعضاء المَجمُوعات في الشَّبكة المَحلِّيَّة.

أَهمُّ برُوتُوكُولات إدارة المَجمُوعات هي برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت الَّذي يُدير مَجمُوعات البثِّ المَجمُوعاتيِّ الخاصَّة بالإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وبرُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتي[269] الَّذي يُدِير مَجمُوعات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، بالإضافة لِعَدَدٍ مِن البرُوتُوكُولات الَّتي تُنجِز مهامَّ مُحدَّدةٍ تَرتبِط بتوزيع رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ داخِل الشَّبكة المَحلِّيَّة نحو برُوتُوكُول سِيسكُو لِإدارة المَجمُوعة وبرُوتُوكُول سِيسكُو لِإدارة مَجمُوعة مَنفَذ المُوجِّه، وستُدرَس هذه البرُوتُوكُولات، ما خلا برُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتي، في ما سيَأتي في هذا الفصل.

برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت[270]

هُو برُوتُوكُول اتِّصالٍ يَعمَل على مُستوَى طَبقة الشَّبكة، يُدِير المَجمُوعات الخاصَّة بالبثِّ المَجمُوعاتيِّ لِرِزم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ويُحدِّد كيفيَّة انضمام المُضيفِين إلى المَجمُوعات وكيفيَّة مُغادرتها آليّاً، ومَعنَى ذلك أَنَّه يَسمَح لأَيِّ مُضيفٍ بأَن يَنضمَّ إلى المَجمُوعة أَو أَن يُغادِرها في أَيِّ وقتٍ يَشاء. بالإضافة لِذلك، لا يَضَع البرُوتُوكُول قُيُوداً على عَدَد أَعضاء المَجمُوعة ولا على مَواقِعهم، كما يَسمَح لِمُضيفٍ ما بالانضمام إلى أَكثر مِن مَجمُوعةٍ في الوقت نفسِه.

يُعرِّف هذا البرُوتُوكُول نوعين مِن الرَّسائِل، هُما رسائِل الاستعلام ورسائِل التَّقارِير. تُستخدَم رسائِل الاستعلام لِاستجواب عُقَد الشَّبكة مِن أَجل التَّحقُّق مِن عضويتها في مَجمُوعة ما، أَمَّا رسائِل التَّقارِير، فهي رَدُّ العُقَد المُستجوَبة على رِسالة الاستعلام.

طَوَّرت مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت ثلاثة إصداراتٍ مِن برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت، أَوَّلها جاء في العام 1989م، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 1112،[271] وحَدَّد آليّات انضمام المُضيف إلى مَجمُوعةٍ ما أَو مُغادرتها. وأَمَّا الإصدار الثَّانِي، فطُوِّر في العام 1997م، ووُصِف في الوثيقة RFC 2236، وقد احتوَى العديد مِن التَّعديلات أَهمَّها السَّماح لِلمُضيف بطَلب مُغادرة المَجمُوعة.[272] وأَمَّا الإصدار الثَّالِث، فقد طُوِّر في العام 2002، ويَدعَم مِيزة البثِّ المَجمُوعاتيِّ مُحدَّد المَصدَر الَّتي ستُناقَش في ما سيَأتي مِن هذا الفصل، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 3376.[273]

تَتَوافَق الإصدارات الثَّلاثة مِن البرُوتُوكُول بعضُها مع بعضٍ، أَي أَنَّ المُوجِّه الَّذي يُشغِّل الإصدار الثَّالِث مِن برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت يَدعَم أَيضاً العُملاء الَّذين يُشغِّلون الإصدار الأَوَّل والإصدار الثَّانِي مِن البرُوتُوكُول.

---

[269] أَصل الاسم Multicast Listener Discovery، اختصاراً MLD، وانظر ما جاء في شأنه في الفصل العاشِر مِن هذا الكِتاب.

[270] أَصل الاسم Internet Group Management Protocol، اختصاراً IGMP.

[271] انظر [RFC1112] في ثَبت المَراجِع.

[272] انظر [RFC2236] في ثَبت المَراجِع.

[273] انظر [RFC3376] في ثَبت المَراجِع.

برُوتُوكُول سِيسكُو لإدارة المَجمُوعة[274]

هُو برُوتُوكُول اتِّصالٍ يَعمَل على مُستوَى طَبقة الوَصلة في الشَّبكات المَحلِّيَّة، ويُساعِد في إدارة مَجمُوعات البثِّ المَجمُوعاتيِّ. طُوِّر هذا البرُوتُوكُول في العام 1996م،[275] وهُو مَملُوكٌ لِشركة سِيسكُو.[276]

طُوِّر هذا البرُوتُوكُول لِحلِّ مُشكِلةٍ تَرتبِط بالمُبدِّلات العامِلة في مُستوَى الطَّبقة الثَّانِية مِن نَمُوذج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة. لا تَستطيع هذه المُبدِّلات التَّمييز بين رسائِل البثِّ المَجمُوعاتيِّ الَّتي تَحتوِي بيانات المُستخدِمين وتلك الَّتي تَحتوِي مَعلُومات التَّحكُّم الخاصَّة بِإدارة المَجمُوعة، والسَّبب في ذلك هُو أنَّ الأُطُر الَّتي تَحتوِي الاثنين مُوجَّهةٌ نحو عُنوان المَجمُوعة. نتيجةً لِذلك، لا تَستطِيع هذه المُبدِّلات تمييز مَنفَذها المُتَّصِل مع المُوجِّه الَّذي يَدعَم البثَّ المَجمُوعاتيَّ، ويَكُون الحلُّ المُتَّبع عند الحاجة لِإرسال رِزَم بيانات البثِّ المَجمُوعاتيِّ إلى المُوجِّه هُو اعتماد تقنيَّة الغَمر[277].

يُنشِئ البرُوتُوكُول، لِمُعالَجة المُشكِلة السَّابِقة، قاعِدة بياناتٍ لِلمَجمُوعات المَوجُودة في الشَّبكةٍ المَحلِّيَّة الَّتي يَتَّصل معها مُوجِّهٌ أَو مُبدِّلٌ عديد الطَّبقات،[278] ثُمَّ يَتواصَل مع المُبدِّلات العامِلة في مُستوَى الطَّبقة الثَّانِية في تلك الشَّبكة المَحلِّيَّة، مُستخدِماً مَجمُوعةً مُحدَّدةً مِن عناوين التَّحكُّم بالنَّفاذ للوسط، فتُميِّز المُبدِّلات الرَّسائِل، وتَحصَل مِنها على مَعلُومات المَجمُوعات وتحدد المَنفَذ الَّذي يَتَّصِل مع المُوجِّه أَو المُبدِّل عديد الطَّبقات.[279] إذا فُعِّلت مِيزة مُراقبة برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت في مُبدِّلات الطَّبقة الثَّانِية، يُمكِن أن تُؤَدِّي الوظيفة نفسَها، وستُناقش هذه المِيزة في ما سيَأتي مِن الفصل.

برُوتُوكُول سِيسكُو لِإدارة مَجمُوعة مَنفَذ المُوجِّه[280]

هُو برُوتُوكُول اتِّصالٍ يَعمَل على مُستوَى طَبقة الشَّبكة طَوَّرته شَركة سِيسكُو في العام 2003م، يَهتَمُّ بِإدارة مَجمُوعات البثِّ المَجمُوعاتيِّ في الشَّبكة المَحلِّيَّة، وهُو مَوصُوفٌ في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 3488.[281]

طُوِّر البرُوتُوكُول لِخلق آليَّةٍ يُمكِن مِن خلالها لِمُعدَّات الشَّبكة النَّاشِطة في مُستوَى الطَّبقة الثَّالِثة أَن تَتَواصَل مع المُبدِّلات العامِلة في الطَّبقة الثَّانِية وأَن تُحدِّد لها المَجمُوعات الَّتي تَمتدُّ أَشجارها عبرها. لا تَظهَر أَهمِّيَّة ما سَبق في الشَّبكات المَحلِّيَّة

---

[274] أَصل الاسم: Cisco Group Management Protocol، اختصاراً CGMP.

[275] انظر مُسوَّدة اقتراح البرُوتُوكُول في [WEB08] في ثَبت المَراجِع.

[276] شَركة أَنظمة سِيسكُو .Cisco Systems, Inc، هي شَركةٌ أَمريكيَّة الأَصل دَوليَّة النَّشاط تَأسَّست في عام 1984م مَقرُّها في سان فرانسيسكو، تُصنِّع وتَبيع عَتاد شَبكات البيانات وبرمجياتها.

[277] أَصل الاسم Flood، هي آليَّة تبديلٍ تَتَّبعها مُبدِّلات البيانات تَقضِي بِإرسال إطار البيانات عبر مَنافِذ المُبدِّل كُلِّها ما خلا المَنفَذ الَّذي وَرد الإطار مِنه، وتُستعمَل عندما يَجهَل المُبدِّل وِجهة إطار البيانات، ويُفضَّل تَجنُّبها ما أَمكن ذلك لِأَنها تَغمُر الشَّبكة بعَدَدٍ كبيرٍ مِن أُطُر البيانات المُكرَّرة بعد كُلِّ استعمالٍ، فتَحطُّ مِن أدائِها العامِّ.

[278] أَصل الاسم Multilayer Switch، هُو أَحد مُعدَّات الشَّبكة الَّتي تَنشُط أَساساً في الطَّبقة الثَّانِية مِن نموذج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة فتَدعَم خِدماتها وبرُوتُوكُولاتها، لكنَّها بالإِضافة لذلك، تَدعَم خِدمات وبرُوتُوكُولات طَبقات أَعلَى نحو مُعالجة رِزَم البيانات أَو توجيهها وهي مِن خِدمات الطَّبقة الثَّالِثة مِن النَّمُوذَج، أَي طَبقة الشَّبكة.

[279] انظر آليَّة عمل البرُوتُوكُول مُفصَّلةً في ص. 8-40 في [STD05] في ثَبت المَراجِع.

[280] أَصل الاسم Cisco Systems Router-port Group Management Protocol، اختصاراً RGMP.

[281] انظر [RFC3448] في ثَبت المَراجِع.

الَّتي لا تَتَّصل إلا مع جهازٍ وَحيدٍ ناشطٍ في الطَّبقة الثَّالِثة، لِأَنَّ أَشجار البثِّ المَجمُوعاتيّ ستَمرُّ كُلّها عَبره في هذه الحالة. ولكن عندما تَتَّصل شَبكةٌ مَحلِّيَّة مع أَكثر مِن جهازٍ ناشِطٍ في الطَّبقة الثَّالِثة في الوقت نفسِه، فإِنَّ أَشجار البثِّ المَجمُوعاتيّ قد تَمتَدُّ عبر بعضٍ مِن هذه المُعدَّات لا عبرها كُلِّها، وسيَكُون مِن غير المُجدي إرسال رِزم البثِّ المَجمُوعاتيّ إِلى جهاز طَبقة ثالِثةٍ لا تَمتَدُّ شَجرة المَجمُوعة عبره، وهذا هُو الوضع المِثاليُّ لِاستعمال البرُوتُوكُول.

يَنشُط البرُوتُوكُول في الوَصلات الَّتي تَربُط بين المُعدَّات العامِلة في الطَّبقة الثَّانية والمُعدَّات العامِلة في الطَّبقة الثَّالِثة، وهُو يَعمَل في الطَّبقة الثَّالِثة حسب نَمُوذَج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، ولِترويسته بِنيةٌ مُطابِقة لِبِنية ترويسة برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت وتُغلَّف ضِمن رِزمة الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، مع ضبط قِيمة حقل البرُوتُوكُول إِلى 2، وعُنوان الوِجهة إِلى 224.0.0.25 وهُو عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ مُخصَّصٍ لِإدارة العَلاقة بين مُعدَّات الطَّبقة الثَّانِية ومُعدَّات الطَّبقة الثَّالِثة.[282]

برُوتُوكُولات توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيّ

هي عائِلةٌ مِن برُوتُوكُولات التَّوجيه تَختصُّ برزم البثِّ المَجمُوعاتيّ وتَعمَل على بناء أَشجارٍ مُتفرِّعةٍ خالِيةٍ مِن الحلقات تَمتَدُّ نحو أَعضاء المَجمُوعة عبر المَسارات القُصرَى المُتاحة. تَصِل، نتيجةً لِذلك، نُسخةٌ وَاحِدة فقط مِن الرِّزمة لِأَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم ولا تَصِل لِسواهم.

تُقسَّم برُوتُوكُولات التَّوجيه الخاصَّة بالبثِّ المَجمُوعاتيّ إِلى مَجمُوعتين رئِيستين:

- برُوتُوكُولات توجيه البثِّ المَجمُوعاتِّي لِلشَّبكات ثابِتة البِنية[283].
- برُوتُوكُولات توجيه البثِّ المَجمُوعاتيّ لِلشَّبكات المُخصصة مُتحرِّكة البِنية[284].

وستُناقِش الفقرات التَّالِية بعضاً مِن برُوتُوكُولات المَجمُوعتين على سبيل المِثال لا الحصر.

برُوتُوكُولات توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيّ في الشَّبكات الثَّابِتة

تُصنَّف برُوتُوكُولات توجيه البثِّ المَجمُوعاتيّ الخاصَّة بالشَّبكات الثَّابِتة وفقاً لِمَصدَر مَعلُوماتها، فإِمَّا أَن تَعتمِد على مَعلُومات التَّوجيه المُكتسَبة عن طريق برُوتُوكُولٍ مُحدَّدٍ لِتوجيه رِزم البثِّ فريد الوِجهة، أَو أَن تَكُون مُستقِلَّةً، أَي تَعمَل مع أَيِّ برُوتُوكُول توجيهٍ لِلرِزم فريدة الوِجهة.

تُصنَّف هذه البرُوتُوكُولات حسب النِّطاق الَّذي تَمتَدُّ فيه الشَّجرة المُتفرِّعة، سواء داخِل نِطاق توجيهٍ واحِدٍ فقط فتُسمَّى داخِليَّةً أَو بين نِطاقاتٍ عديدةٍ فتُسمَّى خارِجيَّةً أَو بينيَّةً. يَعمَل برُوتُوكُول توجيهٍ داخليٌّ وَاحِدٌ في نطاق البثِّ المَجمُوعاتي

[282] انظر [WEB03] في ثَبت المَراجِع.

[283] انظر [ART32] في ثَبت المَراجِع مِن أَجل دراسةٍ استقصائيَّةٍ عن هذه العائِلة مِن برُوتُوكُولات التَّوجيه.

[284] انظر [ART33] في ثَبت المَراجِع مِن أَجل دراسةٍ استقصائيَّةٍ عن هذه العائِلة مِن برُوتُوكُولات التَّوجيه.

غالباً، ولكن قد يُشغَّل أكثرُ مِن برُوتُوكُول توجيهٍ في النِّطاق نفسِه، وتَصِف الوثيقة RFC 2715 عمليَّة التَّشغيل المُشترَك والمُشكِلات الَّتي تُواجِهها.[285]

برُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيِّ تبعاً لِشُعاع المَسافة[286]

هُو برُوتُوكُول توجيهٍ داخليٍّ لِرزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ، يَعمل وفقاً لِخوارزميَّة بِيلمَان وفُورد، الَّتي تُسمَّى أيضاً خوارزميَّة شُعاع المَسافة. طُوِّر هذا البرُوتُوكول في العام 1988م، بهدف دعم البثِّ المَجمُوعاتيِّ بين الشَّبكات المَحلِّيَّة،[287] وهُو مَوصُوفٌ في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1075.[288]

يَبنِي البرُوتُوكُول جدول توجيهٍ خاصٍّ به في كُلِّ مُوجِّهٍ يُشغِّله، ثُمَّ تَتَبادَل هذه المُوجِّهات مَعلُومات التَّوجيه في ما بينها. يَبنِي البرُوتُوكُول، اعتماداً على جدول التَّوجيه السَّابِق، شَجرة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ مَبنيَّة تَبعَاً لِلمَصدَر لإيصال رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ إلى أَعضاء المَجمُوعة كُلِّهم. يَعتمِد البرُوتُوكُول على آليَّة التَّوجيه بعكس المَسار، الَّتي ستُناقش في ما سيَأتي مِن هذا الفصل لِبناء شَجرة المَسارات القُصرَى الخالِية مِن الحلقات.

صُمِّم برُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيِّ تَبعَاً لِشُعاع المَسافة لِيَكُون برُوتُوكُول توجيهٍ داخليٍّ أي يَنشُط في نِطاق بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ وحيدٍ، ولا يُمكِن أَن تَمتَدَّ الشَّجرة الَّتي يَبنِيها لِتَصِل بين نِطاقين مُختلِفين. بالإضافة لذلك، صُمِّم هذا البرُوتوكُول لِيَعمَل مُستقِلَّاً عن برُوتُوكُولات توجيه البثِّ فريد الوِجهة، لِذلك يَلزَم على مُوجِّهات البثِّ فريد الوِجهة الَّتي تُشغِّله أَن تَدعَم عمليَّتي توجيهٍ مُستقِلَّتين تماماً، إحداهما لِلبثِّ فريد الوِجهة والأُخرَى لِلبثِّ المَجمُوعاتيِّ.[289]

توسِعة البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِبرُوتُوكُول المَسار الأَقصر[290]

هي إضافة توسِعةٍ[291] لبرُوتُوكُول المَسار الأَقصر[292] مُتوافِقةٌ مع إصداراته السَّابِقة، أُدخِلت في العام 1994م، ووُصِفت في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1584.[293] تَهدُف التَّوسِعة إلى جعل البرُوتُوكُول قادِراً على توجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ عن طريق بناء أَشجارٍ تَبعَاً لِلمَصدَر، بالإضافة إلى مهمَّته الرَّئيسة المُتمثِّلة بتوجيه الرِّزم فريدة الوِجهة.

---

[285] انظر [RFC2715] في ثَبت المَراجِع.

[286] أَصل الاسم: Distance Vector Multicast Routing Protocol، اختصاراً DVMRP.

[287] لِلاطِّلاع على كيفيَّة تمديد شجرة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ عبر شبكاتٍ مَحليَّةٍ عديدة في نطاق بثٍّ وحيدٍ، انظر ما جاء في ص. 58 في [ART34] في ثَبت المَراجِع.

[288] انظر [RFC1075] في ثَبت المَراجِع.

[289] لِلتَّوسُّع أكثر بهذا الشَّأن، انظر [ART35] في ثَبت المَراجِع.

[290] أَصل الاسم Multicast Open Shortest Path First اختصاراً MOSPF.

[291] أَصل الاسم Plug-in.

[292] برُوتُوكول المَسار الأَقصر Open Shortest Path First، اختصاراً OSPF، هُو برُوتُوكُول توجيهٍ داخليٍّ لِرزم البثِّ فريد الوِجهة يَعمَل تبعاً لِخوارزميَّة دِيكسترا، مِن أجل إصدار البرُوتُوكُول المُتوافِق مع الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت انظر [RFC2328] في ثَبت المَراجِع.

[293] انظر [RFC1584] في ثَبت المَراجِع.

تُضيف المُوجِّهات الَّتي تُشغِّل البرُوتُوكُول مَعلُوماتٍ عن أَعضاء المَجمُوعات الَّذين يَتَّصِلون معها إِلى إعلانات حالة الوصلة[294] المُتبادَلة دَوريّاً. ثُمَّ يَبني كُلُّ مُوجِّهٍ، بعد تطبيق خوارزمية دِيكسترا، جدول توجيهٍ خاصٍّ بكُلِّ مَجمُوعةٍ.

البثُّ المَجمُوعاتيُّ المُستقِلُّ عن برُوتُوكُول التَّوجيه[295]

هي عائِلةٌ مِن برُوتُوكُولات التَّوجيه الدَّاخِليَّة لِرزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ، تَعتمِد على مَعلُومات التَّوجيه المُتوفِّرة مِن برُوتُوكُولات توجيه البثِّ فريد الوِجهة، أيّاً كانت، عِوضاً عن بناء جداول توجيهٍ خاصَّةٍ بها، ولكنَّ عملها لا يَرتبِط ببرُوتُوكُول توجيهٍ مُحدَّدٍ، ومِن هُنا حَصَلت هذه العائِلة مِن البرُوتُوكُولات على اسمها.[296]

تَختلِف البرُوتُوكُولات الَّتي تَنتمِي إِلى هذه العائِلة بأَنواع أَشجار البثِّ المَجمُوعاتي الَّتي تَعتمِد عليها، فمِنها مَن يَعتمِد على الأَشجار المبنية تَبعَاً لِلمَصدَر فقط، ومِنها ما يَعتمِد على أَشجار المَصدَر والأَشجار المُشترَكة معاً.

أَهمُّ برُوتُوكُولات التَّوجيه الَّتي تَنتمِي إِلى هذه العائِلة:[297]

- برُوتُوكُول البثّ المَجمُوعاتيِّ المُستقِلَّ، النَّمط المُتناثِر: وُصِف في الوثيقة RFC 7761،[298] وهُو برُوتُوكُول توجيهٍ لِرزَم البثِّ المَجمُوعاتيِّ يَعمَل على افتراض أَن أَعضاء المَجمُوعة المُراد توجيه الرِّزم إِليها مُتناثِرون تناثُراً مُتباعِداً فِي الشَّبكة، واستناداً إِلى هذا الافتراض، لا تَحتوِي الشَّبكات المَحلِّيَّة فِي أَغلبها أَعضاءً يَنتمُون لِهذه المَجمُوعة. ويَلزَم على المُوجِّهات الَّتي تَتَّصل مع شَبكاتٍ مَحلِّيَّة فيها أَعضاءٌ فِي هذا المَجمُوعة أَن تُعلِن عن ذلك صراحةً لِتوجِّه الرِّزم إِليها. غالباً ما يَستخدِم هذا البرُوتُوكُول أَشجار البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُشترَكة، ولكنَّه قد يَستخدِم الأَشجار المَبنيَّة تبعاً لِلمَصدَر أَيضاً.
- برُوتُوكُول البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُستقِلُّ، النَّمط الكثيف: وُصِف في الوثيقة RFC 3973،[299] وهُو برُوتُوكُول توجيهٍ لِزرم البثِّ المَجمُوعاتيِّ يَعمَل على افتراض أَنَّ أَعضاء المَجمُوعة المُراد توجيه الرِّزم إِليها مُنتشِرين انتشاراً كثيفاً فِي الشَّبكة، واستناداً إِلى هذا الافتراض، تَحتوِي الشَّبكات المَحلِّيَّة فِي أَغلبها أَعضاءً يَنتمُون لِهذه المَجمُوعة، ويَلزَم على المُوجِّهات الَّتي لا تَتَّصِل مع أَعضاءٍ فِي هذا المَجمُوعة أَن تُعلِن عن ذلك صراحةً لكِي لا تُوجِّه الرِّزم إِليها. يَستخدَم هذا البرُوتُوكُول أَشجار البثِّ المَجمُوعاتيِّ المَبنيَّة تبعاً لِلمَصدَر فقط.
- برُوتُوكُول البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُستقِلُّ، النَّمط ثُنائِي الاتجاه: وُصِف في الوثيقة RFC 5015،[300] وهُو برُوتُوكُول توجيهٍ لِزرم البثِّ المَجمُوعاتي مُطوَّر عن النَّمط المُتناثِر لِبرُوتُوكُول البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُستقِلِّ مع اختلافٍ

[294] أَصل الاسم Link-State Advertisement، اختصاراً LSA.

[295] أَصل الاسم Protocol Independent Multicast اختصاراً PIM.

[296] للمزيد حول هذه العائِلة، انظر [STD06] فِي ثَبت المَراجِع.

[297] أصول الأسماء: النَّمط المُتناثِر Sparse Mode، اختصاراً PIM-SM، النَّمط الكثيف Dense Mode، اختصاراً PIM-DM، النَّمط ثُنائِي الاتجاه Bi-directional، اختصاراً BIDIR-PIM.

[298] انظر [RFC7761] فِي ثَبت المَراجِع.

[299] انظر [RFC3973] فِي ثَبت المَراجِع.

[300] انظر [RFC5015] فِي ثَبت المَراجِع.

جوهريٍّ هُو اعتماد النَّمط ثُنائِي الاتِّجاه لِلأَشجارَ المُشترَكة فقط، وفيه تَكُون حركة البيانات غير مُقيَّدةٍ بالتَّيَّار الصَّاعِد مِن الجذر نحو الأَوراق، بل قد تَسلُك أَيضاً الاتِّجاه الهابِط لو كان ذلك مُناسِباً، أَي مِن الأَوراق نحو الجذر، ومِن هُنا حَصل البرُوتُوكُول على اسمه.[301]

برُوتُوكُولات توجيهٍ أُخرى

- توسِعة برُوتُوكُول البوَّابة الحدوديَّة:[302] هي إِضافة تَوسِعةٍ لِبرُوتُوكُول البوَّابة الحدوديَّة، طُوِّرت أَساساً لِمَنح البرُوتُوكُول إِمكانيَّة دَعم عوائِلَ مُختلِفةٍ مِن فضاءَات العناوين، لِيُصبِح مُمكِناً نقل مَعلُومات التَّوجيه بين نِطاقاتٍ وأَنظمةٍ مُستقِلَّةٍ تُشغِّل برُوتُوكُولات تشبيكٍ مُختلِفةٍ، وهذه التَّوسِعة مَوصُوفةٌ بوثيقة طَلب التَّعلِيقات RFC 4760.[303]

يَنتُج عن استعمال التَّوسِعة السَّابِقة برُوتُوكُول توجيهٍ خارِجيٌّ يَنقُل مَعلُومات التَّوجيه الخاصَّة بالمَجمُوعات بين الأَنظمة المُستقِلَّة، يُعامِل فضاء العناوين الخاصّ بالبثِّ المَجمُوعاتيِّ مُعامَلة فضاءٍ مُستقلٍّ، فيَسمَح بتوجيه رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ بين الأَنظمة المُستقلَّة عبر طُوبُولُوجيا مُتشابكةٍ خاصَّةٍ بالبثِّ المَجمُوعاتيِّ توجيهاً مُستقِلّاً عن توجيه الرِّزم فريدة الوِجهة، أَي يُمكِن لِشَجرة البثِّ المَجمُوعاتيِّ حينها أَن تَمتَدَّ إِلى خارِج النِّظام المُستقِلِّ وتَتَوسَّع نحو أَنظمةٍ مُستقِلَّةٍ أُخرَى.

- برُوتُوكُول الشَّجرة مَركزيَّة النَّواة[304] هُو برُوتُوكُول توجيهٍ لِرزِم البثِّ المَجمُوعاتِيِّ، مُناسِبٌ لِلعمل بالنَّمطين الدَّاخِليِّ والخارِجيِّ وهُو مُستقِلٌّ عن برُوتُوكُولات توجيه البثِّ فريد الوِجهة. يَبنِي البرُوتُوكُول أَشجاراً مُشترَكةً ثُنائِيَّة الاتِّجاه، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 2189.[305]

كان الدَّافِع الرَّئِيس وراء العمل هُو تطوير برُوتُوكُولٍ يَدعَم قابلية الشَّبكات لِلتَّوسع، ومع أَنَّ مُحدِّدات الإِصدار الأَوَّل مِن البرُوتُوكُول قد وُضِعت، إِلَّا أَنَّه لم يُنفَّذ أَبداً. أَمَّا الإِصدار الثَّانِي، وهُو الإِصدار الحالِيُّ، فهُو غير مُتوافِقٍ مع الإِصدار الأَوَّل، ويَعتمِد على الأَشجار مَركزيَّة النَّواة الَّتي مَنحَته اسمه. جَرَت مُحاولةٌ لِتطوير إِصدارٍ ثالِثٍ مِن البرُوتُوكُول، ولكنَّها لم تَتَجاوز مَرحَلة المُسوَّدة.[306]

- برُوتُوكُول اكتشاف مَصادِر البثِّ المَجمُوعاتيِّ[307] هُو برُوتُوكُول توجيهٍ خارِجيٍّ لِرزِم البثِّ المَجمُوعاتيِّ مُستقِلٍّ عن برُوتُوكُولات توجيه الرِّزم فريدة الوِجهة، يَعمَل على الرَّبط بين نِطاقات البثِّ المَجمُوعاتيِّ الَّتي تُشغِّل النَّمط

---

[301] لِمقارنةٍ بين الأَشجار المُشترَكة وحيدة الاتِّجاه والأَشجار المُشترَكة ثُنائِيَّة الاتِّجاه، انظر ص. 1-2 في [WEB09] في ثَبت المَراجِع

[302] أَصل الاسم Multiprotocol Border Gateway Protocol، اختصاراً MBGP.

[303] انظر [RFC4760] في ثَبت المَراجِع.

[304] أَصل الاسم Core-Based Tree Protocol، اختصاراً CBT Protocol.

[305] انظر [RFC2189] في ثَبت المَراجِع

[306] انظر [WEB10] في ثَبت المَراجِع.

[307] أَصل الاسم Multicast Source Discovery Protocol، اختصاراً MSDP

المُتناثِر مِن برُوتُوكُول البثِّ المَجمُوعاتِيِّ المُستقِلّ، من خلال بنائِه لِأشجار بثٍّ مَجمُوعاتِيٍّ مُشترَكةٍ داخِل نِطاقه الخاصّ، ولِلأشجار تبعاً لِلمَصدَر مع النِّطاقات الأُخرى الَّتي يَربُط بينها. وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 3618.[308] يَعمل هذا البرُوتُوكُول في طَبقة التَّطبيق، ويَعتمِد على برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل لِيَكُون برُوتُوكُول نقلٍ، مع رَقم مَنفَذٍ مَحجُوزٍ له هُو 639.[309]

برُوتُوكُولات توجيه رزم البثِّ المَجمُوعاتِيِّ في الشَّبكات المُخصَّصة المُتحرِّكة

تَختلِف الشَّبكات المُخصَّصة المُتحرِّكة[310] عن الشَّبكات التَّقليديَّة بافتقادها لِبِنيةٍ تحتيَّةٍ ثابِتة الطُوبُولُوجيا، بل على العكس، تَكُون الطُوبُولُوجيا فيها مُتغيِّرة البِنية، وتَكُون الشَّبكة مُكوَّنةً مِن عَدَدٍ، قد يَصِل للمِئَات أَو الآلاف، مِن العُقَد المُتحرِّكة الَّتي تَعتمِد على طاقة مُدَّخِراتٍ، وهُو ما يَفرِض على البرُوتُوكُولات العامِلة فيها قُيُوداً إِضافيَّةً تَرتبِط بالحاجة لِاستهلاك أَدنَى كمِّيةٍ مُمكِنةٍ مِن الطَّاقة.[311]

تُصنَّف برُوتُوكُولات التَّوجيه الخاصَّة بالبثِّ المَجمُوعاتِيِّ تبعاً:[312]

- لِفلسفة التَّصميم إِلى استباقِيٍّ أَو مُتفاعِلٍ أَو هجينٍ[313]. أَمَّا الاستباقِيُّ، فهُو الَّذي يَحسُب المَسارات نحو الوِجهات كُلِّها بعد تشغيله. وأَمَّا المُتفاعِل فهُو الَّذي يَحسُب المَسارات عند الحاجة، وأَمَّا الهجين فهُو يَخلُط شيئاً مِن الفلسفتين السَّابِقتين معاً.
- لِطريقة التَّعامُل مع الطوبولوجيا، أَي هل يَتعامَل البرُوتُوكُول مع الطُّوبُولُوجيا كامِلةً دُفعةً واحِدةً أَم أَنَّه يُقسُّمها إِلى أَجزاءٍ؟ فلو تَعامَل معها كامِلةً، وُصِف بأَنَّه وَحيد المُستوَى، ولو قَسَّمها إِلى أَجزاءٍ، فهُو تراتبِيٌّ، وقد يُصنَّف بعد ذلك أَيضاً إِلى مَناطِقِيٍّ أَو عُنقودِيٍّ وَفقاً لِنهج التَّقسيم.[314]
- لِطريقة إِنشاء المَسارات إِلى مُتشابِكةٍ أَو شَجريَّةٍ أَو هجينةٍ. أَمَّا في المُتشابِكة فتَكُون طُوبُولُوجيا المَسارات فيها مُتشابِكةً، أَي يُحتمَل وجُود مَساراتٍ مُتعدِّدةٍ لِكُلِّ وِجهةٍ. وأَمَّا في الشَّجريَّة، تَكُون طُوبُولُوجيا المَسارات النَّاتِجة شَجرةً جذرها هُو العُقدة المَصدَر لِلرِّزم. وأَمَّا في الهجينة، فتَكُون الطُّوبُولُوجيا خليطاً مما سَبق.
- لِخوارزميَّة عمل البرُوتُوكُول إِلى برُوتُوكُولاتٍ عامِلةٍ بخوارزميَّات شُعاع المَسافة نحو خوارزميَّة بِيلمان فُورد أَو عامِلةٍ بخوارزميَّات حالة الوصلة نحو خوارزميَّة دِيكسترَا أَو برُوتُوكُولاتٍ هجينةٍ تَعمَل وَفقاً لِخليطٍ مما سَبق.

---

308 انظر [RFC3618] في ثَبت المَراجِع.

309 انظر [WEB11] في ثَبت المَراجِع.

310 أَصل الاسم Ad-hoc mobile network، وAd-hoc كَلِمةٌ لاتينيَّة الأَصل تَعني خاصّاً أَو مُشكَّلاً لِمُعالَجة مَوضُوعٍ مُعيَّنٍ، انظر ص. 33 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع. لِلمزيد حول هذه الشَّبكات نُشير إِلى الفصل الأَوَّل مِن أُطروحة الدُّكتوراه الَّتي أَعددناها في عام 2021م، ومَوضُوعها مُحاكاة هذا النَّوع مِن الشَّبكات، انظر ص. 10-24 في [BKE07].

311 لِلمزيد حول مُتطلَّبات هذا النَّوع مِن الشَّبكات، انظر [ART36] في ثَبت المَراجِع.

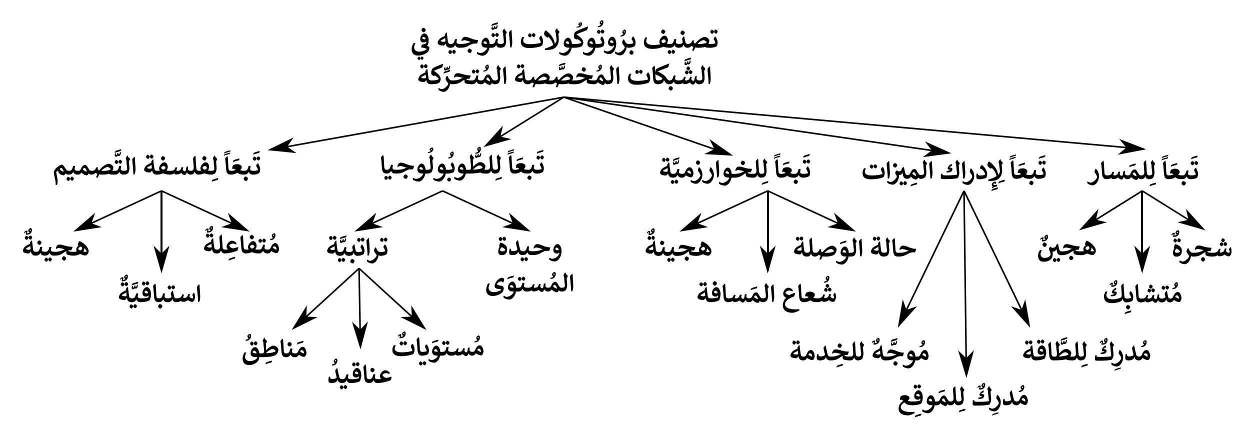
312 انظر تفاصيلَ أَوسَعَ في [ART37] في ثَبت المَراجِع.

313 أُصول الأَسماء هي Proactive وActive وHybrid على التَّرتيب.

314 أُصول الأَسماء هي: Flat لِوحيد المُستوَى، وHierarchy لِتراتبيَّة، وZone لِمَنطقةٍ وCluster لِعُنقُودٍ.

- لِإدخال البرُوتُوكُول لِمُعامِلاتٍ مُحدَّدةٍ فِي حِساب المَسار، أَي أَنَّ التَّفضيل بين المَسارات يَأخُذ بالحسبان أَيضاً عواملَ نحو جُودة الخِدمة أَو مَوقِع العُقدة أَو الطَّاقة المُخزَّنة فيها.

ويُبيِّن الشَّكل (5-7) شجرة تصانيف برُوتُوكُولات توجيه البثِّ المَجمُوعاتيِّ فِي الشَّبكات المُخصَّصة المُتحرِّكة.



الشَّكل (5-7): تصنيف برُوتُوكُولات توجيه البثِّ المَجمُوعاتيِّ في الشَّبكات المُخصَّصَة المُتحرِّكة

فِي ما يَأتِي عَرضٌ لبعضٍ مِن برُوتُوكُولات توجيه رِزَم البثِّ المَجمُوعاتيِّ فِي الشَّبكات المُخصَّصة المُتحرِّكة، وكُلُّها استباقيَّةٌ لا تُفاضِل بين المَسارات تبعاً لِلمِيزات:

- برُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيِّ تَبعَاً لِلطَّلب[315] هُو برُوتُوكُول توجيهٍ لِرِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ مُخصَّصٌ لِلشَّبكات المُتحرِّكة، يَعتمِد على عَدَد القفزات على طُول المَسار لِحِساب الوزن. يُنشِئ البرُوتُوكُول شَبكةً مِن المَسارات المُتشابِكة الَّتِي تَمتَدُّ على طُوبُولُوجيا الشَّبكة كامِلةً.
- برُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُخصَّص للشَّبكات المُتحرِّكة[316] هُو برُوتُوكُول توجيهٍ لِزرم البثِّ المَجمُوعاتيِّ مُخصَّصٌ لِلشَّبكات المُتحرِّكة، يَعتمِد على عَدَد القَفزات على طُول المَسار لِحِساب الوزن. يَتعامل البرُوتُوكُول مع طُوبُولُوجيا الشَّبكة كامِلةً دُفعةً واحدةً.
- برُوتُوكُول الشَّبكة المُتشابِكة المركزيَّة[317] هُو برُوتُوكُول توجيه لِرِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ مُخصَّصٌ لِلشَّبكات المُتحرِّكة، يَعتمِد على مُحدِّدات الوَصلة لِحِساب وزن المَسار. بدلاً مِن بناء شَجرة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ، يُنشِئ البرُوتُوكُول شَبكةً مِن المَسارات المُتشابِكة الَّتِي تَمتَدُّ على طُوبُولُوجيا الشَّبكة كامِلةً.

[315] أَصل الاسم On-Demand Multicast Routing Protocol، اختصاراً ODMRP، انظره في [ART38] في ثَبت المَراجِع.

[316] أَصل الاسم Ad hoc Multicast Routing protocol، اختصاراً AMRoute، انظره في [ART39] في ثَبت المَراجِع.

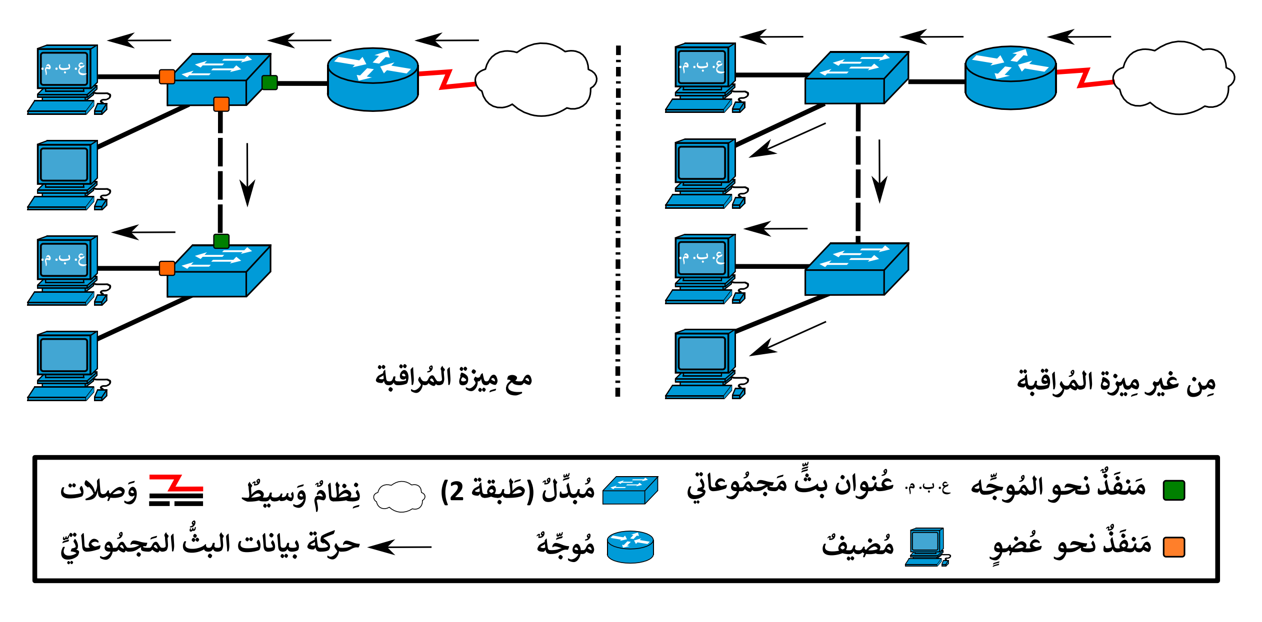
[317] أَصل الاسم Core-Assisted Mesh Protocol، اختصاراً CAMP، انظره في [ART40] في ثَبت المَراجِع.

آليّاتٌ مُكمّلةٌ لِلبثّ المَجمُوعاتيّ

مِيزة مُراقبة برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت[318]

هي مِيزةٌ إضافيّةٌ لِسُلُوك المُبدِّلات العامِلة في مُستوَى الطّبقة الثّانِية في الشّبكات المَحلِّيَّة الّتي تُشغِّل الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مِن أجل إدارةٍ أفضلَ لِمَجمُوعات البثّ المَجمُوعاتيّ. تَسمَح هذه المِيزة لِلمُبدِّلات بمُراقبة حركة رسائِل برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت الّذي يَعمَل على مُستوَى الطّبقة الثّالِثة، وبناءً على ذلك يَتعرَّف المُبدِّل على تَوزُّع أعضاء المَجمُوعة في الشّبكة المَحلِّيَّة،[319] وُصِفت القواعِد المُحدِّدة لِلعمليَّة في وثيقة طَلب التّعليقات RFC 4541.[320]

يَقرَأ المُبدِّل عناوين مَصادِر ووِجهات أُطُر البيانات لأنَّه يَعمَل في مُستوى الطّبقة الثّانِية تبعاً لِنَمُوذج الرّبط البينيّ لِلأنظمة المَفتُوحة. يَكُون عُنوان وِجهة الإطار في حالة البثّ المَجمُوعاتيّ هُو عُنوان مَجمُوعةٍ دائِماً، وبالتّالِي فهُو لا يَدلُّ على أيّ عُضوٍ مُميّزٍ بحدِّ ذاتِه. أمّا عُنوان المَصدَر فهو غير ذي أهمِّيَّةٍ في هذا السّياق، فلا يَشترِط البثُّ المَجمُوعاتيُّ أن يَكُون المَصدَر عُضواً في المَجمُوعة. لا يَملِك المُبدِّل، نتيجةً لِذلك، وسيلةً لِلتّعرُّف على مَواقِع أعضاء المَجمُوعة، فيُرسِل رِزم البثّ المَجمُوعاتيّ عبر كُلّ مَنافِذه مُستثنِياً المَنفَذ الّذي وَرَدت مِنه، وفي هذا استهلاكٌ لِعَرض النّطاق المُتاح في الشّبكة المَحلِّيَّة، وإرهاقٌ لِلطّرفيّات غير المَعنيَّة بالعمليَّة. إضافة لِذلك، لا يُمكِن لِلمُبدِّل أن يُحدِّد مَوقِع الجهاز الّذي يَعمَل على مُستوَى الطّبقة الثّالِثة والّذي يُقدِّم الدّعم لِأعضاء المَجمُوعة في الشّبكة المَحلِّيَّة، والّذي يَكُون عادةً مُوجِّهاً أو مُبدِّلاً عديد الطّبقات.



الشّكل (5-8): مثالٌ عن استخدام مِيزة مُراقبة برُوتُوكُول إدارة المَجمُوعة في شَبكة مَحلّيَّة

يُصنِّف المُبدِّل مَنافِذه مِن أجل كُلّ مَجمُوعةٍ نتيجةً لِاستخدام هذه المِيزة، فإما أن تَكُون منافذَ مُتَّصلةً مع أعضاءٍ فيها أو أن تَكُون مُتَّصِلةً مُباشَرةً، نحو مُوجِّه يَدعَم البثّ المَجمُوعاتيّ لهذه المَجمُوعة أو تُؤَدِّي إليه عبر مَسارٍ غير مُباشِرٍ. يُرسِل

[318] أصل الاسم IGMP Snooping

[319] انظر ما جاء في [ART41] في ثَبت المَراجِع.

[320] انظر [RFC4541] في ثَبت المَراجِع.

المُبدِّل رِزَم المَجمُوعة عبر النَّوعين السَّابِقين فقط، أَمَّا سائِر المَنافِذ، والَّتي لا تَقَع تحت أَيٍّ مِن التَّصنيفين السَّابِقين، فلا تُرسَل رِزَم البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِتلك المَجمُوعة عبرها.

طُوِّرت هذه المِيزة لِتحسين عمليَّة توزيع رزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ في الشَّبكات الَّتي تُشغِّل الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهي تَنُوب، عند تفعيلها في الشَّبكة المَحلِّيَّة، عن برُوتُوكُول سِيسكُو لإدارة المَجمُوعة وعن برُوتُوكُول سِيسكُو لإدارة المَجمُوعة على مَنفَذ المُوجِّه معاً.

التَّوجيه بعكس المَسار[321]

هي تقنيةٌ لِلتَّوجيه في شَبكات تبديل الرِّزم، تُستخدَم لِلتَّحقُّق مِن أن مَساراً ما خالٍ مِن الحلقات. طُوِّرت هذه التِّقنيَّة في عام 1978م لِتوجيه رِزم البثِّ العامِّ، لكنَّها اُستخدِمت لاحِقاً على نطاقٍ واسِعٍ مِن أَجل توجيه الرِّزم فريدة الوِجهة ورِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ.[322]

تَعتمِد حسابات التَّوجيه بعكس المَسار على مَصدَر الرِّزمة لا على وِجهتها، فإذا وَصَلت الرِّزمة إلى مَنفَذٍ ما في أَحد المُوجِّهات على طُول المَسار، يَتحقَّق المُوجِّه مِن إمكانيَّة الوصُول إلى مَصدَر الرِّزمة عبر ذلك المَنفذ مِن غير تشكيل حلقاتٍ، فإذا كان ذلك مُمكِناً، تُقبَل الرِّزمة، ويُصار إلى اتخاذ قرار توجيهها نحو وِجهتها، وإن لم يَكُن مُمكِناً، يَتخلَّص المُوجِّه مِنها.

تَعتمِد هذه الطَّريقة على جزء المَسار الَّذي سَبق لِلرِّزمة أَن سَلكته لِتَصِل إلى المَنفَذ بدءاً مِن مَصدَرها، لا على المَسار الَّذي ستَسلُكه لاحِقاً لِلوصُول إلى هدفها، لِذلك يُوصَف هذا المَسار بالمَعكُوس، لِأَنَّه يَنطبِق على مَسار الرِّزمة الأَصيلة لكنَّه يُعاكِسه بالاتِّجاه.

البثُّ المَجمُوعاتيِّ مُحدَّد المَصدَر

كانت تقنيَّة البثِّ المَجمُوعاتيِّ غير مُحدَّدة المَصدَر في الأَصل،[323] أَي أَنَّ كُلَّ عُضوٍ في المَجمُوعة يَستقبِل رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ المُوجَّهة لِعُنوان المَجمُوعة، سواء كان المَصدَر عُضواً فيها أَم لا. طُوِّرت تقنيَّةٌ إضافيَّةٌ لاحِقاً سَمَحت بجعل البثِّ المَجمُوعاتيِّ مُحدَّد المَصدَر، وفيه يُمكِن لِكُلِّ عُضوٍ في المَجمُوعة أَن يُحدِّد المَصادِر الَّتي يَقبَل استقبال رِزم البثِّ المَجمُوعاتيِّ مِنها، عِوَضاً عن استقبال الرزم المُوجهة لِعُنوان المَجمُوعة كُلِّها، وُصِفَت هذه الإضافة في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 4607.[324]

يَلزَم لِدعم هذه المِيزة في الشَّبكات الَّتي تَستخدِم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت أَن يُشغَّل الإصدار الثَّالِث مِن برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت، وقد حُجِز فضاء العناوين 232.0.0.0/8 خصيصاً لِهذه المِيزة.

---

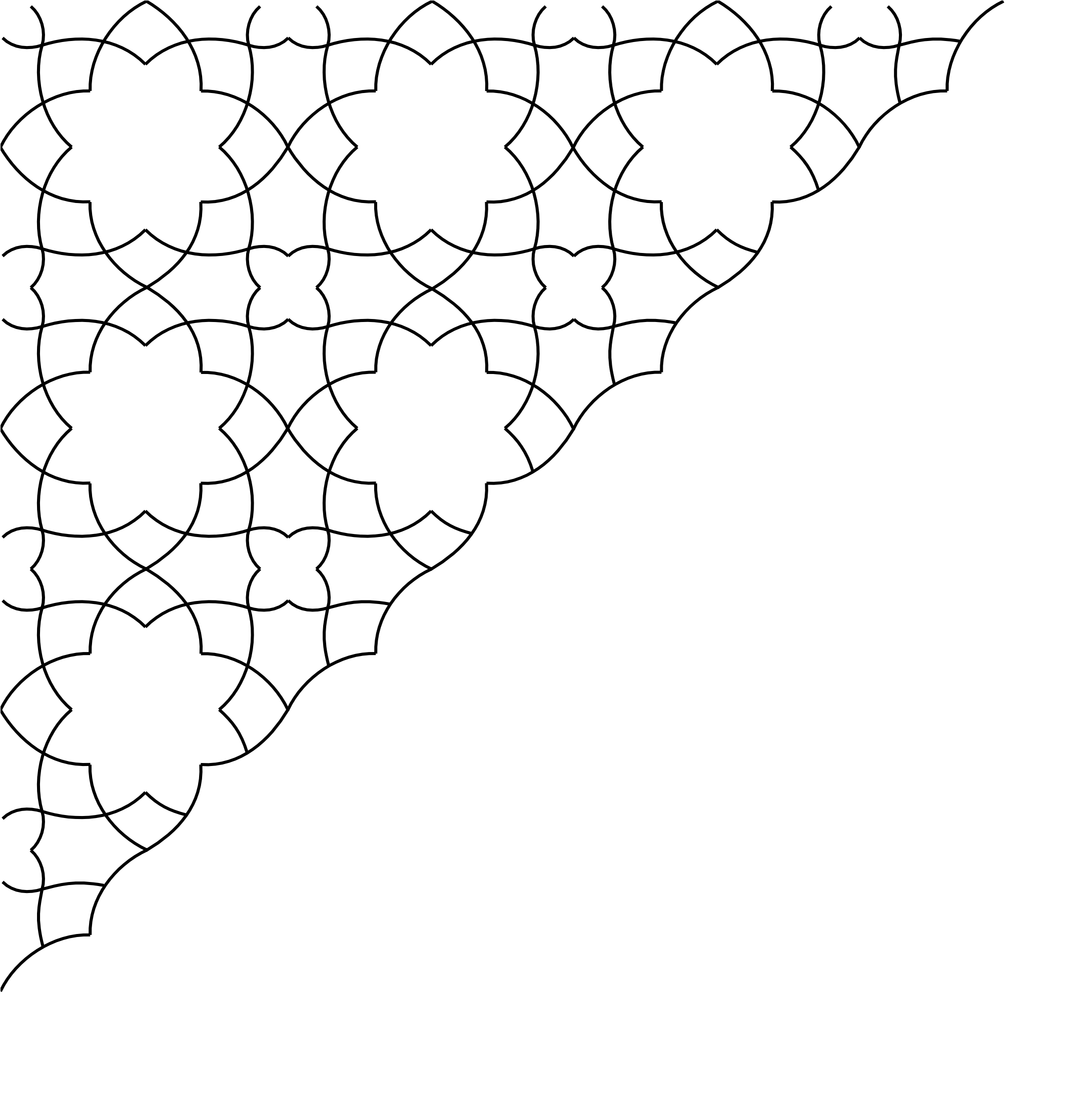
321 أَصل الاسم Reverse Path Forwarding، اختصاراً RPF.

322 انظر البحث الأَصيل في [ART42] في ثَبت المَراجِع.

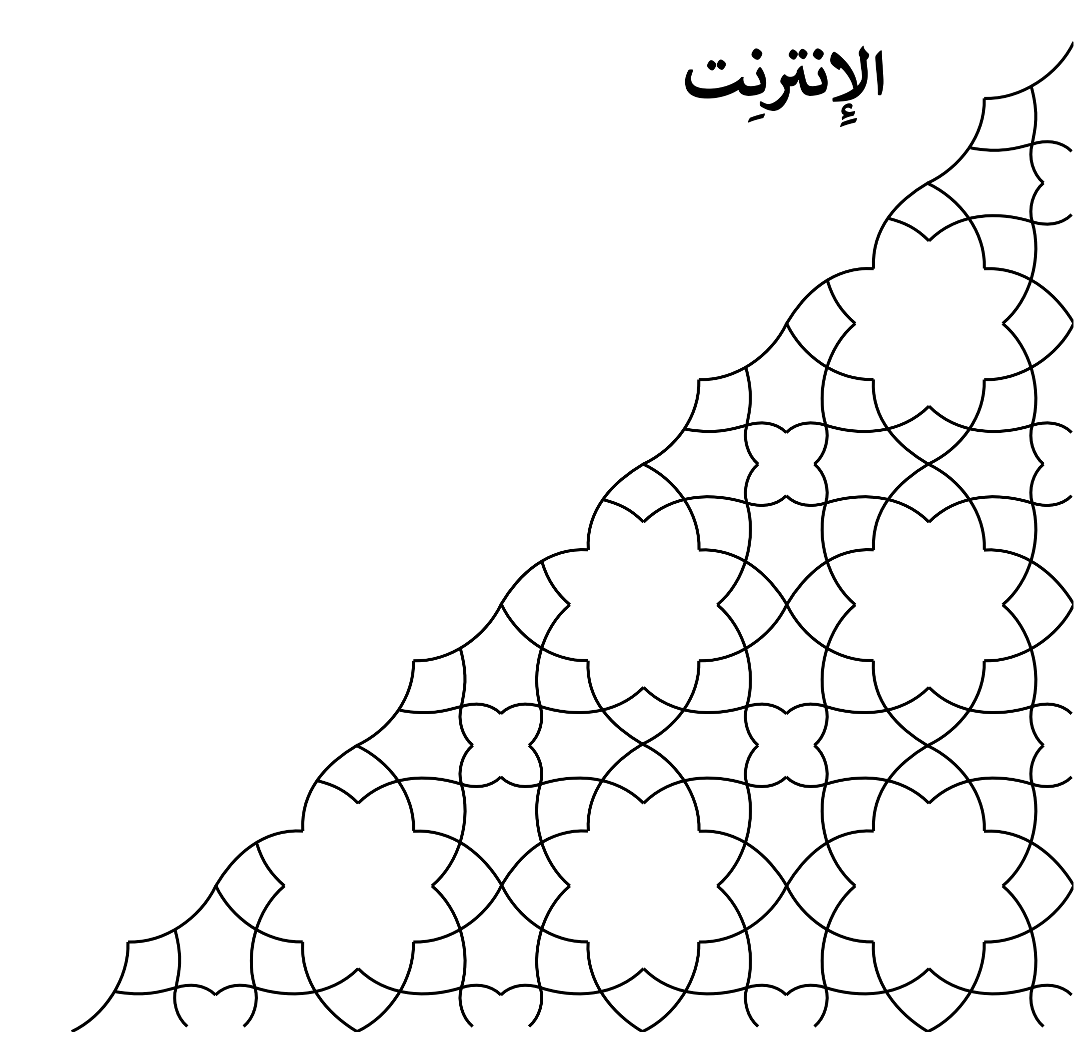
323 أَصل الاسم: Any-Source Multicast، اختصاراً ASM. أمَّا البثُّ مُحدَّد المَصدَر فاسمه الأَصيل: Specific-Source Multicast، اختصاراً SSM.

324 انظر [RFC4607] في ثَبت المَراجِع.

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل السَّادِس: برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإِنترنِت



مُقدِّمةٌ

برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت لِلإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنت[325] هُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ لِلإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت وجُزءٌ مُدمَجٌ فيه. يُعرِّف البرُوتُوكُول عَدَداً مِن رسائِل التَّحكُّم الَّتي تُغلَّف داخِل رِزَم الإصدار الرَّابِع، لِتُنقَل بين المُضيفِين عبر الشَّبكة بهذا الشَّكل. طُوِّر البرُوتُوكُول توازياً مع تطوير الإصدار الرَّابِع، ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 792.

تُصنَّف رسائِل التَّحكُّم التي يُعرِّفها البروتوكول إلى صِنفين: رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء ورسائِل الإعلام. أمَّا الأُولَى فهي تُرسَل لِمَصدَر رِزمة بياناتٍ نتيجةً لِحُصُول خطأٍ ما في أَثناء مُعالَجة الرِّزمة، وقد يُرسِلها المُضيف الوِجهة أَو أَيُّ مُوجِّهٍ يُعالِج الرِّزمة في أَثناء عبورها لِلمَسار بين المَصدَر والوِجهة. وأمَّا الأُخرَى، فتُقسَم إلى مَجمُوعتين: رسائِل الطَّلب ورسائِل الرَّدِّ. وأَمَّا رسائِل الطَّلب فيُرسِلها مُضيفٌ نحو وِجهةٍ ما يَطلُب فيها الحُصُول على مَعلُوماتٍ مُحدَّدةٍ، مثل عُنوان المُوجِّه المُتَّصل مع الشَّبكة المَحلِّيَّة، وأَمَّا رسائِل الرَّدّ فهي ردُّ تلك الوِجهة على رسالة الإعلام ، ولِكُلِّ رِسالة إعلامٍ رِسالةُ ردٍّ مُتوافِقةٌ معها.

عَرَّف المِعيار الرَّسميُّ لِلبرُوتُوكُول عَدَداً مِن الرَّسائِل، أَهمُّها رِسالة توليد الصَّدَى والرَّدُّ عليها ورِسالة إعادة التَّوجيه ورِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة. وأُضيفت إليها لاحِقاً عَدَدٌ مِن الرَّسائِل لِأَداء وظائِفَ مُختلِفةٍ، مِثل الاستعلام عن قِناع الفضاء، ولكنَّ الرَّسائِل المُضافة أَغلبها وبعضاً مِن الرَّسائِل المُعرَّفة في المِعيار الرَّسميِّ أُبطِلت في ما بعد لِأَسبابٍ مُتنوِّعةٍ ولم تَعُد مُستخدَمةً.

اعتماداً على رِسالة توليد الصَّدَى والرَّدّ عليها، بُنِيت أَداتان لِتشخيص الأَخطاء في الشَّبكة وتعقُّبها هُما أَداة التَّحقُّق مِن الاتِّصال، المَشهُورة باسم پينگ، وأَداة تَتَبُّع المَسار. لا مِعيار مُوحَّداً لِتنفيذ هاتين الأَداتين، ولِذلك تَنوَّعت أَساليب تنفيذهما في أَنظمة التَّشغيل المُختلِفة مثل نِظام وِيندُوز الخاصِّ بمَايكرُوسُوفت وأَنظمة التَّشغيل الخاصَّة بسِيسكُو وغير ذلك.

كانت رسائِل البرُوتُوكُول سبباً في تطوير عَدَدٍ مِن الهَجمات الَّتي يُمكِن تصنيفها ضِمن ثلاث فِئَاتٍ رَئِيسةٍ هي: هَجمات الغَمر الَّتي تَهدُف لِحَجب الخِدمة، نحو هُجُوم السَّنافِر، والهَجمات الانفجاريَّة نحو هُجُوم أَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال المُميت، وهَجمات تسريب المَعلُومات نحو شكلٍ خاصٍّ مِن هُجوم الوسيط طُوِّر اعتماداً على رسائِل إعادة التَّوجيه الَّتي يُعرِّفها البرُوتُوكُول، وستُناقَش هذه الهَجمات في ما سيَأتي من هذا الفصل.

يَبدَأ هذا الفصل بعَرض نبذةٍ تاريخيَّةٍ عن تطوّر برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت، ثُمَّ يَشرَح مَبدَأ عمله وبِنية ترويسته ويُفصِّل في تناول وظائِفه عبر بيان رسائِله وَفقاً لِتصنيفها سالِف الذِّكر، يَلي ذلك عَرضٌ لِتطبيقي البرُوتُوكُول الأَكثر شُهرةً وهُما أَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال و أَمر تَتَبع المَسار، ويُختَم الفصل بعَرضٍ لِلمُشكِلات المُرافِقة لِتنفيذ واستعمال البرُوتُوكُول في شبكات البيانات.

[325] أَصل الاسم Internet Control Message Protocol for Internet Protocol version 4، اختصاراً ICMPv4.

نبذةٌ تاريخيَّةٌ

طُوِّر برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت بالتَّوازي مع تطوير الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وطُرِح معياره الأَوَّل له في شهر أَبريل مِن العام 1981 في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 777،[326] ثُمَّ طُرِحت وثيقةٌ أُخرَى بعد خمسة أَشهرٍ في سِبتمبر مِن العامِّ نفسِه وهي وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 792،[327] وهي المِعيار الرَّسميُّ للبرُوتُوكُول حتَّى تاريخ تأليف هذا الكِتاب.

اِحتوَى المِعيار الرَّسميُّ لِلبرُوتُوكُول توصيفاً مُقتضباً لإِحدَى عَشر رِسالة تحكُّمٍ. تَلا ذلك تفاصيلُ دقيقةٌ أُخرَى صَدَرت في وثيقتين مُنفصِلتين تَشرحان كيفيَّة عمل البرُوتُوكُول ومَتى يَلزَم إرسال الرَّسائِل. وُجِّهت الأُولَى لِتوصيف عمل مُضيفِي الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهي وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1122 المُعنوَنة: "مُتَطلَّبات مُضيفِي الإنترنِت -- طَبقات الاتِّصال"، والَّتي صَدَرت في شهر أُكتُوبر مِن العامِّ 1989م،[328] وخُصِّصَت الثَّانِية لِتوصيف عمل المُوجِّهات، وهي الوثيقة RFC 1812 المُعنوَنة: "مُتَطلَّبات مُوجِّهات الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت"، والَّتي صَدرت في شهر يُونيُو مِن العامِّ 1995م.[329]

وُسِّع البرُوتُوكُول تتابُعاً في السَّنوات اللاحِقة لِإصدار المِعيار الرَّسميِّ وَفقاً لما اقتضاه التَّطوُّر التَّقنيُّ. فعلى سبيل المِثال، في أَغسطس مِن العام 1985م، صَدر مِعيار تجزِئة الشَّبكة، وعَرَّف نوعاً جديداً مِن رسائِل التَّحكُّم هي رسائِل القِناع، وتَشمُل نوعين مِن الرَّسائِل هُما رِسالة طَلب القِناع ورِسالة الرَّدِّ عليها. صَدرت الوثيقة RFC 1256 في شهر سِپتمبر مِن العامِّ 1991م، أَي بعد قُرابة 10 سنواتٍ مِن اعتماد البرُوتُوكُول مِعياراً رسميَّاً، وعَرَّفت نوعاً جديداً مِن الرَّسائِل هي رسائِل اكتشاف المُوجِّه، وتَضمُّ رِسالتين هُما رِسالة الإعلان عن المُوجِّه ورِسالة التماسه. ولكنَّ هذه الرَّسائِل أَغلبَها أُبطِلت في وقتٍ لاحِقٍ لِأَسبابٍ مُختلِفةٍ ولم تَعُد مُستعمَلةً.

طُوِّر الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في عام 1995م، وبالتَّوازي مع هذا التَّطوير جَرَى العمل على إصدارٍ جديدٍ مِن برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم مُتوافِقٍ مع الإصدار السَّادِس، وسُمِّي برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1885،[330] طُوِّر مِعيار هذا البرُوتُوكُول لاحِقاً وعُدِّل تِباعاً، وأَمَّا المِعيار الأَحدث فهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 4443.[331]

326 انظر [RFC777] في ثَبت المَراجِع.

327 يُمكِن تبيُّن العَلاقة الوثيقة الَّتي تَربُط برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم مع الإصدار الرَّابِع برُوتُوكُول الإنترنِت مِن خلال تَتَبُّع الأَسماء الرَّمزيَّة لِلمَعايير الرَّسميَّة، فقد حَمَل مِعيار الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الاسم الرَّمزيَّ RFC 791، وتَلاه مُباشَرةً مِعيار برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت وحَمَل الاسم الرَّمزيَّ RFC 792.

328 أَصل الاسم Requirements for Internet Hosts -- Communication Layers، انظرها في [RFC1122] في ثَبت المَراجِع.

329 أَصل الاسم Requirements for IP Version 4 Routers، انظرها في [RFC1812] في ثَبت المَراجِع.

330 أَصل الاسم Internet Control Message Protocol for the Internet Protocol version 6 اختصاراً ICMPv6، وسيُدرَس بالتَّفصيل في الفصل الحادِي عَشر مِن هذا الكِتاب. مِن أَجل وثيقة طَلب التَّعليقات، انظر [RFC1885] في ثَبت المَراجِع.

331 انظر [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

مَبدَأ العمل

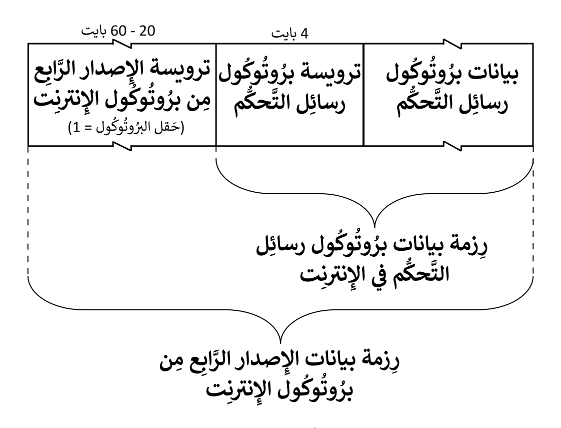
يُقدِّم برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الوظائِف التَّالِية:[332]

- إبلاغ مَصدَر الرِّزمة عن حُصُول أَخطاءٍ في أَثناء مُعالَجتها.
- الاستعلام عن مَعلُوماتٍ مِن مُعَدَّات الشَّبكة.
- إعادة التَّوجيه، وتَنشُط بين المُوجِّه الأَوَّل على مَسار رِزَم البيانات ومَصدَرها.

يُعرِّف البرُوتُوكُول، لِتحقيق ذلك، عَدَداً مِن الرَّسائِل الَّتي يَجرِي تبادُلها عبر الشَّبكة بين مَصدَر رِزَم البيانات ووِجهتها أَو بين المَصدَر وعُقَد الشَّبكة المَوجُودة على المَسار الواصِل إلى الوِجهة.

الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت غير مَوثُوقٍ، ولا يَهدُف استعمال برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم إلى إضافة المَوثُوقيَّة إليه، بل إلى إضافة مِيزاتٍ لِلتبليغ عن وقوع أَخطاءٍ في الشَّبكة أَو عن حُصُول أَحداثٍ تَتَطلَّب انتباهاً مِن مُديريها. وَفقاً لِنَمُوذج الرَّبط البينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، فإنَّ رسائِل هذا البرُوتُوكُول تُولَّد على مُستوَى طَبقة الشَّبكة حيث يَعمَل، ولكن يُمكِن أَن تَطلُبها كِياناتٌ على مُستوَى طَبقة النَّقل، أَو على مُستوَى طَبقة التَّطبيق حيث تَنشُط كِياناتٌ مُتَّصِلةٌ مباشرةً مع تطبيقات المُستخدِمين.

تُغلَّف رِزَم برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم داخِل رِزَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت، ويُبيِّن الشَّكل (6-1) المَوقِع النِّسبيّ لِترويستي البرُوتوكولين. عند التَّغليف، يُعامِل برُوتُوكُولُ الإنترنِت برُوتُوكُولَ رسائِل التَّحكُّم مُعامَلة برُوتُوكُول طَبقةٍ عُليا، ولكنَّ برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم هُو جُزءٌ مُدمَجٌ مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ويَلزَم أَن يُدعَم في أَيِّ مُضيفٍ يُشغِّل البرُوتُوكُول الأَخير.[333] عندما تُغلَّف رِزمة برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم داخِل رِزمة برُوتُوكُول الإنترنِت، يَلزَم أَن تُضبَط قِيمة حَقل البرُوتُوكُول في ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت إلى القِيمة 1.[334]



الشَّكل (6-1): تغلِيف رِزمة برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم داخِل رِزمة بيانات الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

---

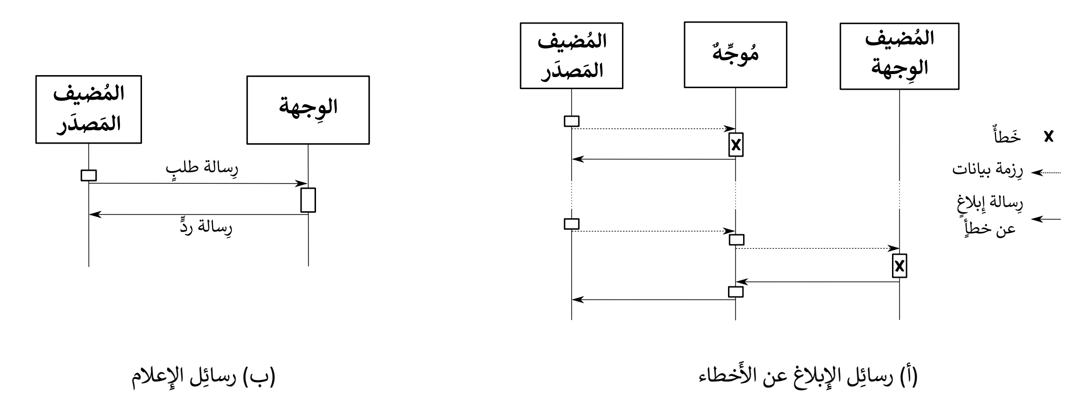
[332] كان التَّحكُّم بالازدحام مِن وظائِف هذا البرُوتُوكُول أَيضاً عند تطويره، وذلك باستعمال رِسالة تهدِئَة المَصدَر (انظر المُلحَق هـ). ولكنَّ هذه الرِّسالة أُبطِلت لاحِقاً، ولم يَعُد البرُوتُوكُول يَدعَم هذه الوظيفة.

[333] انظر ص. 1 في [RFC792] في ثَبت المَراجِع.

[334] هذه القِيمة مَحجُوزةٌ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت بواسطة هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة، انظر ص. 2 [RFC792] في ثَبت المَراجِع.

تُصنَّف رسائِل التَّحكُّم وَفقاً لِوظيفتها إلى صَنفين:[335]

- رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء، تُرسَل مِن المُضيف الوِجهة لِلرِّزمة أَو مِن أَحد المُوجِّهات على مَسارها، إلى مَصدَر رِزمة البيانات نتيجةً لِحُصُول خطَإٍ في مُعالَجة الرِّزمة، ولا يُردُّ أَبداً على رِسالة الخطَأ. ويُبيِّن القِسم أ مِن الشَّكل (6-2) مُخطَّط تَتَابعٍ[336] بلُغة النَّمذجَة المُوحَّدة[337] لِآليَّة تبادل رِسالَتي خطَإٍ، يَحصُل الأُوَّل بين مُوجِّهٍ ما على مَسار الرِّزمة وبين مَصدَرها، ويَحصُل الثَّاني في الوِجهة النِّهائيَة.
- رسائِل الإعلام، تُرسَل مِن مُضيفٍ إلى مُضيفٍ آخرَ أَو إلى مُوجِّهٍ، ويُمكِن أَن تُستخدَم لِطَلب مَعلُوماتٍ مُحدَّدةٍ، نحو عُنوان مُوجهٍ ما أَو قِناع الفضاء، ولِكُلِّ رِسالة طَلبٍ رِسالة ردٍّ مُتوافِقةٌ معها بِنيةً، ويَلزَم الرَّدُّ على كُلِّ رِسالة طَلبٍ برِسالة الرَّدِّ المُتوافِقة معها. ويُظهِر القِسم ب مِن الشَّكل (6-2) مُخطَّط تَتَابعٍ لِآليَّة عمل رسائِل الإعلام.

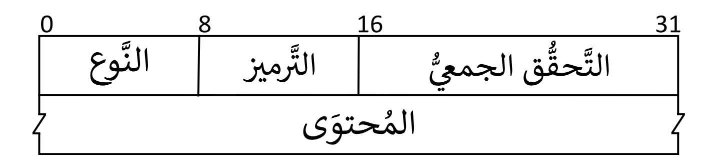


الشَّكل (6-2): مُخطَّطا تَتَابُعٍ بلُغة النَّمذَجة المُوحَّدة لِوصف عَمل نوعي رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت

بِنية التَّرويسة

تَتكوَّن ترويسة برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم مِن مَجمُوعتين مِن الحُقُول (الشَّكل (6-3)):

- الحُقُول الدَّائِمة، وتُوجَد في ترويسات رسائِل البرُوتُوكُول كُلِّها، بغض النَّظر عن نوع الرِّسالة، وهي ثلاثة حُقُولٍ: النَّوع والتَّرميز والتَّحقُّق الجمعيُّ.
- حُقُول المُحتوَى، وتَتَغير في العَدَد والبِنية والطُّول وَفقاً لِنوع الرِّسالة.



الشَّكل (6-3): بِنيةٌ عامَّةٌ لِترويسة برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت

[335] أَصل الاسمان Error message وQuery message على التَّرتيب، انظر ص. 52-53 في [RFC1812] في ثَبت المَراجِع.

[336] أَصل الاسم Sequence diagram.

[337] أَصل الاسم Unified Modeling Language، اختصاراً UML، وهي لُغة نَمذجةٍ عامَّةٍ أُبتدِعت في عام 1994م، تُستعمَل في مجال تطوير البرمجيَّات، وتُؤمِّن طريقةً مُوحَّدةً لِعَرض تصميم نِظامٍ مُستهدَفٍ عَرضاً مَرئيَّاً.

وتُوصَف حُقُول التَّرويسة السَّابِقة كما سيَأتي:[338]

- حَقل النَّوع، طُوله 8 بتاتٍ، يَحتوِي مُعرِّفاً رَقميّاً يُشير إلى نوع رِسالة التَّحكُّم. تُدير هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة عمليَّة الضَّبط المِعياريِّ لِقِيم هذا الحَقل عالَميّاً، يُوجَد 43 قِيمةً مَحجُوزةً، ولكنَّ عَدَداً كبيراً مِنها خُصِّص سابِقاً لِرسائِلَ مُبطَلةٍ لم تَعُد مُستعمَلةً اليوم.[339]
- حَقل التَّرميز، طُوله 8 بتاتٍ، يَحتوِي مُعرِّفاً رَقميّاً يُخصِّص نوع الرِّسالة. يَختلِف مَعنَى التَّرميز باختلاف نوع الرِّسالة، فمَعنَى التَّرميز 0 مِن أَجل أَحد أنواع رسائِل التَّحكُّم يَختلِف عن معناه في رِسالةٍ أُخرَى، وتُخصَّص قِيم هذا الحَقل أيضاً بواسطة هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة.[340]
- حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ، طُولُه 8 بتاتٍ، يَحتوِي ناتِج خوارزميَّة التَّحقُّق الجمعيِّ الَّتي تُطبَّق على رِزمة البرُوتُوكُول كامِلةً، وتَشرح مُحدِّدات البرُوتُوكُول الخوارزميَّة المُتَّبعة لِحِساب قِيمة هذا الحَقل.[341]
- المُحتوَى، وهُو حَقلٌ مُتغيِّر الطُّول، يَضمُّ حُقُولاً تَختلِف في بِنيتها وعَدَدها ومُحتوَاها وَفقاً لِنوع الرِّسالة، وقد تَحتوِي في بعضٍ مِن الأَحيان أَجزاءً مِن ترويسة برُوتُوكُول إنترنِت.

تُصنَّف رسائِل التَّحكُّم إلى نوعين وَفقاً لِوظيفتها كما أُسلِف، فهي إمَّا رسائِل إعلامٍ أَو رسائِل إبلاغٍ عن الأَخطاء، ويُبيِّن الجدول (6-1) رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت الَّتي ما تَزال قيد الاستعمال وَفقاً لِلتَّصنيف السَّابِق مع تبيان أُصُول أَسمائِها وقِيمة حَقل النَّوع في كُلٍّ مِنها.

الجدول (6-1): رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم الَّتي ما تَزال قيد الاستعمال مُصنَّفةً وَفقاً لِلنَّوع

قِيمة حَقل النَّوع	اسم الرِّسالة بالعربيَّة	اسم الرِّسالة الأَصيل	تصنيف الرِّسالة
0	الصَّدى[342]	Echo replay	إعلامٌ
3	تَعذُّر بُلُوغ الوجهة	Destination unreachable	إبلاغٌ عن خطَأٍ
5	إعادة التَّوجيه	Redirect	إبلاغٌ عن خطَأٍ
8	توليد الصَّدَى	Echo	إعلامٌ
9	الإعلان عن المُوجِّه	Router advertisement	إعلامٌ
10	التماس المُوجِّه	Router solicitation	إعلامٌ
11	نفاد الزَّمن	Time exceeded	إبلاغٌ عن خطَأٍ
12	مُشكِلةٌ في مُحدِّدٍ	Parameter problem	إبلاغٌ عن خطَأٍ
13	طَلب وسمةٍ زمنيَّةٍ	Timestamp	إعلامٌ
14	الرَّدُّ على طَلب الوَسمة الزَّمنيَّة	Timestamp reply	إعلامٌ

[338] أُصول أَسماء الحُقُول هي Type وCode وChecksum وContent على التَّرتيب. انظر ص. 2 في [RFC792] في ثَبت المَراجِع.

[339] انظر [WEB13] في ثبت المَراجِع.

[340] انظر ص. 5 في [RFC2780] في ثبت المَراجِع.

[341] انظر ص. 2 في [RFC792] في ثَبت المَراجِع.

[342] الصَّدَى لغةً هُو الصَّوت المُجيب مِن الجبل بِمِثل صَوت المُنادِي ونحوه (انظر مادة صدى في ج. 4 ص. 2421 في [BKA04] في ثَبت المَراجِع). تُمثِّل الرِّسالة الأُولَى في هذا السِّياق صَوت المُنادِي، والرِّسالة الثَّانِية العائِدة هي الصَّدَى. في المِعيار الأَصل، سُمِّيت الرِّسالة الأُولى بالصَّدَى Echo والثَّانِيَة بالرَّدِّ على الصَّدَى Echo Reply، أَمَّا عندما عرَّبناها، فقد عَكسنا الأَسماء لِيَستقِيم المَعنَى في العربيَّة.

طُوِّرت رسائِلُ عديدةٌ أُخرى لِأَغراضٍ مُتنوِّعةٍ، اُستعمِل بعضٌ مِنها لِفترةٍ وجيزةٍ، وبعضٌ مِنها لم يَتجاوز المَرحلة التَّجريبيَّة، وكُلُّها مُبطَلةٌ وغير مَدعُومةٍ في تطبيقات البرُوتُوكُول.[343]

الوظائِف

يُنجِز البرُوتُوكُول ثلاث وظائِفَ هي إبلاغ المُضيفِين بحُصُول أَخطاءٍ في أَثناء مُعالجة رِزم البيانات الَّتي أَرسَلوها وتزويدهم بآليَّةٍ لِلاستعلام عن مَعلُوماتٍ مِن مُعَدَّات الشَّبكة وإعادة التَّوجيه. ولِتحقيق ذلك، يُعرِّف البرُوتُوكُول نوعين مِن الرِّسائِل هُما رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء ورسائِل الإعلام وسيُناقَش النَّوعان فيما سيَأتي.

رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء

تُرسَل هذه الرَّسائِل نتيجةً لِحُصُول خطَإٍ ما في أَثناء مُعالَجة رِزمة بياناتٍ. يَكُون مَصدَر الرِّسالة هُو وِجهة الرِّزمة النِّهائيَّة أَو أَحد المُوجِّهات الَّتي تُعالِجُها في أَثناء عُبُورها الشَّبكة نحو وِجهتها. يَلزَم أَن تَحتوِي رِسالة الخطَأ على نُسخةٍ مِن ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت الخاصَّة بالرِّزمة الَّتي حَصل الخطَأ عند مُعالَجتها بالإضافة لِنسخةٍ مِن البايتات الثَّمانية الأُولَى مِن حُمُولة الرِّزمة.

تُحدِّد وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1812 بعضاً مِن الحالات الَّتي لا تُرسَل رسائِل الأَخطاء فيها، وهي:[344]

- استقبال رسائِل أَخطاءٍ أُخرى لِلبرُوتُوكُول، فلا يُردُّ على رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء أَبداً.
- التَّخلُّص مِن رِزمة برُوتُوكُول إنترنتٍ لم تَتَجاوز اختبارات التَّحقُّق مِن سلامة المُحتوَى، على سبيل المثال، لم تَتَجاوز الرِّزمة اختبار التَّحقُّق الجمعيِّ أَوكان طُولها المُحدَّد في التَّرويسة غير مُتوافِقٍ مع طُولها الفِعليِّ.
- استقبال رِزمة بثٍّ عامٍّ أَو بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ فيها خطأٌ ما، وذلك لِحماية الشَّبكة المَحلِّيَّة مِن هَجمات الغَمر الَّتي ستُناقَش في ما سيَأتي مِن هذا الفصل.
- استقبال رِزمة بياناتٍ ذات عُنوان مَصدَرٍ غير سليمٍ.
- استقبال أَيِّ قِطعةٍ غير سليمةٍ ناتِجةٍ عن التَّقطيع، ما خلا القِطعة الأُولَى.

تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة

تُرسَل هذه الرِّسالة إلى المُضيف المَصدَر الَّذي أَرسل رِزمة بياناتٍ ما نحو مُضيفٍ وِجهةٍ، ولكن، ولِسببٍ ما، تُحدِّده هذه الرِّسالة، تَعذَّر إيصال الرِّزمة إلى وِجهتها. قد يَكُون مُرسِل الرِّسالة مُوجِّهاً يُعالِج الرِّزمة في أَثناء عُبُورها المَسار نحو وِجهتها، أَو قد تَكُون الوِجهة نفسُها هي المُرسِل في بعضٍ مِن الأَحيان.[345]

---

[343] انظر المُلحَق هـ لِلاطِّلاع على قائِمةٍ لِرسائِل البرُوتُوكُول المُبطَلة.

[344] انظر ص. 55 في [RFC1812] في ثَبت المَراجِع.

[345] يَلزَم في هذا السِّياق التَّمييز بين المُضيف الوِجهة والكِيان الوِجهة، فالأَوَّل هُو طَرفيَّةٌ تُشغِّل نَمُوذَج اتصالٍ كامِلٍ مُشابِهاً لما دُرِس في الفصل الأَوَّل مِن الكِتاب، أَمَّا الآخر، أَي الكِيان الوِجهة، فيَنشُط في طَبقةٍ ما ويَدعَم برُوتُوكُولاً ما. في الحالة هُنا، تَصِل الرِّسالة إلى المُضيف الوِجهة لا إلى الكِيان الوِجهة.

تُرسَل رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة في الحالات التَّالِية:[346]

1. مِن مُوجِّهٍ يُعالِج الرِّزمة:[347]

- إذا لم يَكُن بالإمكان بُلُوغ الشَّبكة المُحدَّدة وِجهةً لِرِزمة بياناتٍ ما وَفقاً لِبُنود جدول التَّوجيه. في هذه الحالة، يَتخلَّص المُوجِّه مِن الرِّزمة، ويُرسِل رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة إلى مَصدَرها، ويُحدِّدها بحالة: "تعذُّر بُلُوغ الشَّبكة".
- إذا كان المُوجِّه مُتَّصِلاً مع الشَّبكة الوِجهة اتِّصالاً مُباشِراً، ولكن تعذَّر بُلُوغ المُضيف المُحدَّد بعُنوان الوِجهة، وتَحصُل هذه الحالة عندما يَكُون:
    - المُضيف في وضع التَّعطيل، مَثلاً: في حالة الإطفاء.
    - المُضيف غير مُتَّصلٍ مع الشَّبكة.
    - عُنوان المُضيف غير مُستعمَلٍ أو خاطِئ.

وفي هذه الحالات كُلِّها، يَتخلَّص المُوجِّه مِن الرِّزمة، ويُرسِل رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة إلى مَصدَرها، ويُحدِّدها بحالة: "تَعذُّر بُلُوغ المُضيف".

- إذا كان عَلَم عدم التَّقطيع مَرفُوعاً في رزمة البيانات، وكان حجمُها أكبر مِن وَحدة النَّقل العُظمَى لِطَبقة الشَّبكة المُحدَّدة في الخَطوة التَّالِية على مَسار الرِّزمة نحو وِجهتها، في هذه الحالة يَتخلَّص المُوجِّه مِن الرِّزمة، ويُرسِل رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوجهة إلى مَصدَرها، ويُحدِّدها بحالة: "التَّقطيع لازِمٌ، ولكنَّ عَلَم عدم التَّقطيع مَرفُوعٌ".

2. مِن المُضيف الوِجهة:[348]

- إذا كانت قِيمة حَقل البرُوتُوكُول في ترويسة الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لا تَتَطابَق مع أيِّ قِيمةٍ مَدعُومةٍ في كِيان برُوتُوكُول الإنترنِت في المُضيف، فإنَّ الكِيان يَتخلَّص مِن الرِّزمة ويُرسِل إلى مَصدَرها رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة، ويُحدِّدها بحالة: " تَعذُّر بُلُوغ البرُوتُوكُول".
- إذا كان رَقم المَنفَذ في ترويسة برُوتُوكُول النَّقل غير فعَّالٍ في المُضيف الوِجهة، فإنَّ كِيان برُوتُوكُول النَّقل يَتخلَّص مِن الرِّزمة ويُرسِل إلى مَصدَر الرِّزمة رِسالة تَعذُّر بُلوغ الوِجهة، ويُحدِّدها بحالة: "تَعذُّر بُلُوغ المَنفَذ".

---

[346] انظر ص. 5 في [RFC792] في ثَبت المَراجِع.

[347] أُصول أَسماء الحالات هي على التَّرتيب: Network unreachable لِتَعذُّر بُلُوغ الشَّبكة وHost unreachable لِتَعذُّر بُلُوغ المُضيف وFragmentation needed and DF set لِرسالة "التَّقطيع لازِمٌ، ولكنَّ عَلَم عدم التَّقطيع مَرفُوعٌ".

[348] أصل اسمي الحالتين هُما Protocol unreachable لِتعذُّر بُلُوغ البرُوتُوكُول وPort unreachable لِتعذُّر بُلُوغ المَنفَذ على التَّرتيب.

يُظهِر الشَّكل (6-4) بِنية رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة، وتُضبَط قِيمة حَقل النَّوع فيها إلى 3، أمَّا حَقل التَّرميز فيُمكِن أن يَأخُذ قِيماً مُتنوِّعةً مُتوافِقةً مع الحالات الَّتي وُلِّدت الرِّسالة بسببها والَّتي سَبق وشُرِحت في ما سَبَق، ويَذكُر الجدول (6-2) قِيم حَقل النَّوع المُتوافِقة مع هذه الحالات ويُحدِّد معانيها.[349]

0 النَّوع =3	8 التَّرميز	16 التَّحقُّق الجمعيُّ 31
غير مُستعمَلٍ		
ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت + 64 بتٍ مِن حُمُولة رِزمة البيانات الأَصيلة		

الشَّكل (6-4): بِنية رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت

الجدول (6-2): قِيم حَقل التَّرميز في رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة ومعانيها

قِيمة حَقل التَّرميز	الحالة	الوصف
0	تَعذُّر بُلُوغ الشَّبكة	يُولِّدها مُوجِّهٌ يُعالِج رِزمة بياناتٍ ما إذا كان المَسار نحو الشَّبكة الوِجهة غير مُتوافِرٍ في جدول التَّوجيه.
1	تَعذُّر بُلُوغ المُضيف	يُولِّدها مُوجِّهٌ يُعالِج رِزمة بياناتٍ ما إذا كان المُضيف الوِجهة يَقع في شَبكةٍ مُتَّصِلةٍ اتِّصالاً مُباشَراً معه ولكن المَسار نحو المُضيف الوِجهة غير مُتوافِرٍ ولا يُمكِن الاتِّصال معه.
2	تَعذُّر بُلُوغ البرُوتُوكُول	تُولَّد في المُضيف الوِجهة إذا كان برُوتُوكُول طَبقة النَّقل الَّذي يُنتظَر مِنه أن يُعالِج مُحتوَى رِزمة البيانات غير مَدعُومٍ.
3	تَعذُّر بُلُوغ المَنفَذ	تُولَّد في المُضيف الوِجهة إذا كان برُوتُوكُول طَبقة النَّقل الَّذي يُنتظَر مِنه مُعالَجة مُحتوَى رِزمة البيانات لا يَدعَم رَقم المَنفَذ المَوجُود فيها.
4	التَّقطيع لازِمٌ، ولكنَّ عَلَم عدم التَّقطيع مَرفُوعٌ	يُولِّدها مُوجِّهٌ يُعالِج رِزمة بياناتٍ ما إذا كان تقطيع الرِّزمة إلزاميٌّ ولكنَّه غير مُمكِنٍ لأنَّ عَلَم عدم التَّقطيع مَرفُوعٌ في ترويستها.
5	إخفاق مَسار المَصدَر	يُولِّدها مُوجِّهٌ لم يَستطِع توجيه رِزمة بياناتٍ ما وَفقاً لِما يُوجَد في خِيار التَّوجيه المُقيِّد بمَسار المَصدَر.[350]
6	الشَّبكة الوِجهة غير مَعرُوفةٍ	لا تُستعمَل، لِأنَّها تُعطِي المَصدَر انطباعاً بِأنَّ الشَّبكة الوِجهة غير مَوجُودةٍ. عِوضاً عن هذه الرِّسالة، تُولَّد رسالةُ تَعذُّر بلوغ وِجهةٍ تَكُون قِيمة حَقل النَّوع فيها مُساوِيةً لِلصِّفر.

[349] لِلمزيد مِن التَّفاصيل حول هذه الحالات انظر ص. 39-40 في [RFC1122] وص. 80-81 في [RFC1812] في ثَبت المَراجِع.

[350] لِلمزيد حول هذا الخِيار، انظر المُلحَق أ في هذا الكِتاب.

7	المُضيف الوجهة غير مَعرُوفٍ	تُولَّد هذه الرِّسالة عندما يَتمكَّن المُوجِّه، اعتماداً على مَعلُومات طَبقة الوصلة، مِن الجزم بصُورةٍ مُؤَكَّدةٍ بأَنَّ المُضيف الوِجهة غير مَوجُودٍ.
8	المُضيف المَصدَر مَعزُولٌ	لا تُستعمَل.
9	الاتِّصال مع الشَّبكة الوِجهة مَحظُورٌ إشرافيَّاً	لا يُسمَح لِلمُضيف المَصدَر بإرسال رِزَم البيانات إلى الشَّبكة حيث يُوجَد المُضيف الوِجهة.
10	الاتِّصال مع المُضيف الوِجهة مَحظُورٌ إشرافيَّاً	لا يُسمَح لِلمُضيف المَصدَر بإرسال رِزَم البيانات إلى المُضيف الوِجهة.
11	تَعذُّر بُلُوغ الشَّبكة الوِجهة بسبب نوع الخِدمة	يُولِّدها مُوجِّهٌ يُعالِج رِزمة بياناتٍ ما، ولم يَجِد لها مَساراً يَتوافَق مع نوع الخِدمة الافتراضيِّ ويَصِل إلى الشَّبكة الوِجهة في جَدول توجيهه.
12	تَعذُّر بُلُوغ المُضيف الوِجهة بسبب نوع الخِدمة	يُولِّدها مُوجِّهٌ يُعالِج رِزمة بياناتٍ ما، ولم يَجِد لها مَساراً نحو المُضيف الوِجهة في جَدول توجيهه يَتوافَق مع نوع الخِدمة الافتراضيِّ.
13	الاتِّصال مَحظُورٌ إشرافيَّاً	تُولَّد في مُوجِّهٍ إذا لم يَكُن باستطاعته توجيه رِزمة بياناتٍ ما بسبب عمليَّة ترشيحٍ[351] إشرافيَّةٍ.
14	انتهاك أَحقيَّة المُضيف	تُرسَل مِن مُوجِّهٍ مُتَّصِلٍ مُباشرةً مع شَبكة المُضيف المَصدَر لِإخباره بعدم السَّماح له بإنجاز عمليَّة الإرسال لِأَغراضٍ تَتَعلَّق بنوع الخِدمة، مثلاً لا يَحقُّ لِلمُضيف إنشاء اتِّصالٍ بين زوجٍ عناوينَ يَضمُّ عُنوان مَصدَر وعُنوان وِجهةٍ مُحدَّدين أو أَرقام مَنافذَ مُحدَّدةً لِلمَصدَر ولِلوجهة أو غير ذلك.[352]
15	أَحقيَّةٌ غير كافِيةٍ	تُرسَل مِن مُوجِّهٍ مُتَّصِلٍ مُباشَرةً مع شَبكة المُضيف لِإخباره بأَنَّه لا يُحقِّق درجة الأَحقيَّة الدُّنيا اللَّازِمة لِإتمام العمليَّة.

إعادة التَّوجيه

يُرسِل مُوجِّهٌ مُتَّصلٌ مع شَبكةٍ مَحلِّيَّة رِسالة إعادة التَّوجيه إلى مُضيفٍ فيها، والهدف مِنها إبلاغه باستحسان إرسال رِزَم البيانات المُوجَّهة نحو وِجهةٍ مُحدَّدةٍ عبر مُوجِّهٍ آخرَ مُتَّصلٍ مباشَرةً مع الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها.[353]

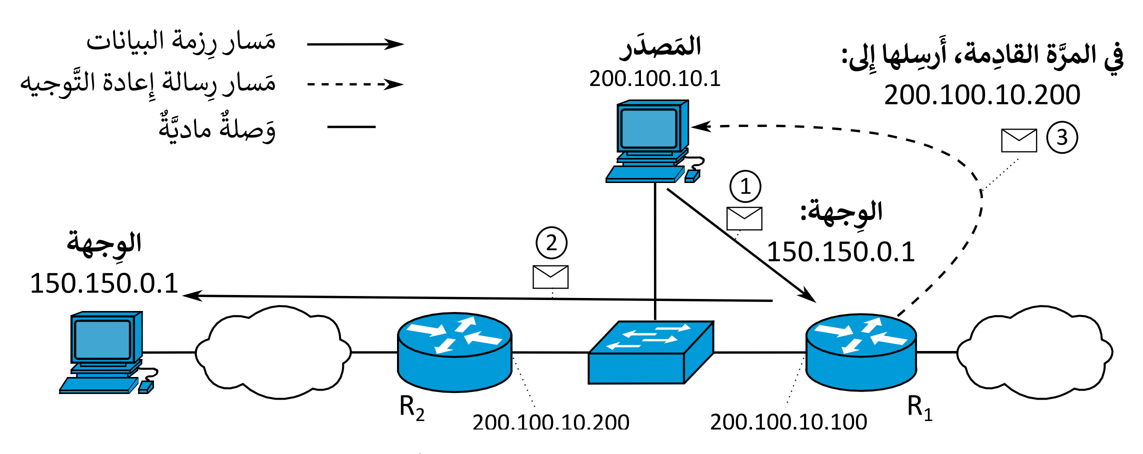
[351] أَصل الاسم Filtering، ومعناه التَّرشِيح أو التَّصفية انظر ص. 440 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع، وهُو حَذف شيءٍ أو حذف إشارةٍ لا تَتَوافَق مع مِعيارٍ مُحدَّدٍ سلفاً، انظر ص. 74 في [BKA06].

[352] لِلمزيد حول مَفهُوم الأَحقيَّة، انظر ما جاء وصف حَقل جُودة الخِدمة في ترويسة الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت في الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب.

[353] انظر ص. 57 في [RFC1812] في ثَبت المَراجِع.

يُبيِّن الشَّكل (6-5) حالةً يَتَّصل فيها مُوجِّهان على الأقلِّ، هُما R_1 وR_2، مع الشَّبكة المَحلِّيَّة المُعنوَنة بالفضاء 200.100.10.0/24 حيث يُوجَد المُضيف المَصدَر. يُولِّد المُضيف رِزمة بياناتٍ ويُرسِلها نحو وِجهةٍ عُنوانها 150.150.0.1. يَمرُّ أفضلُ مَسارٍ لِبُلُوغ هذه الوِجهة عبر المُوجِّه R_2، ولكنَّ المُضيف، ولِسببٍ ما، يُرسِلها نحو المُوجِّه R_1. في هذه الحالة، يُوجِّه R_1 الرِّزمة نحو المُوجِّه R_2، ثُمَّ يُرسِل رِسالة إعادة توجيهٍ لِلمُضيف المَصدَر يُبلِغه فيها باستحسان توجيه الرِّزَم المُستقبليَّة الَّتي تَكون وِجهتها 150.150.0.1 نحو المُوجِّه R_2.

يُلزَم كُلُّ مُضيفٍ بتحديث جدول التَّوجيه خاصَّته لِلتَّفاعُل مع رسائِل إعادة التَّوجيه الَّتي يَستقبِلها، ويُستثنَى مِن ذلك الحالات الَّتي يَكون عُنوان المُوجِّه فيها مِن فضاءٍ جُزئيٍّ آخرَ مُغايرٍ لِلفضاء الجُزئيِّ الَّذي يَنتمِي عُنوان المُضيف إليه، وعندها يُهمِل المُضيف رِسالة إعادة التَّوجيه.[354]



الشَّكل (6-5): مِثالٌ عن آليَّة عمل رسالة إعادة التَّوجيه في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

يُبيِّن الشَّكل (6-6) بِنية رِسالة إعادة التَّوجيه وحُقُولها، قِيمة حَقل النَّوع فيها هي 5، يَليه حَقل التَّرميز، الَّذي يَحتمِل أربع قِيمٍ تَتحدَّد وَفقاً لِلجدول (6-3) الَّذي يَضمُّ شَرحاً لِكُلِّ قِيمةٍ مُحتمَلةٍ. يَلي ذلك حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ الَّذي يُستعمَل لِاكتشاف أخطاء النَّقل كما أُسلِف، ثُمَّ عُنوان البوَّابة الَّتي يَقترِحها المُوجِّه على المُضيف المَصدَر (وعُنوانه 200.100.10.200 في الحالة المَدرُوسة بالشَّكل (6-5)) بالإضافة لِترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت في الرِّزمة الأصلية ولِلبايتات الثَّمانية الأُولَى مِن حُمُولتها، وتُساعِد هذه البيانات المُضيف المَصدَر على تشخيص سَبب المُشكِلة الَّتي أدَّت لِعمليَّة التَّوجيه غير السَّليمة.

0 — 8	8 — 16	16 — 31
النَّوع = 5	التَّرميز	التَّحقُّق الجمعيُّ
عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت لِلبوَّابة		
ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت + 64 بتٍ مِن حُمُولة رِزمة البيانات الأصلية		

الشَّكل (6-6): بِنية رِسالة إعادة التَّوجيه في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت

[354] لِلمزيد حول هذه المَسألة انظر ص. 40-41 في [RFC1122] في ثَبت المَراجِع.

الجدول (6-3): قِيم حَقل التَّرميز في رِسالة إعادة التَّوجيه ومَعانيها

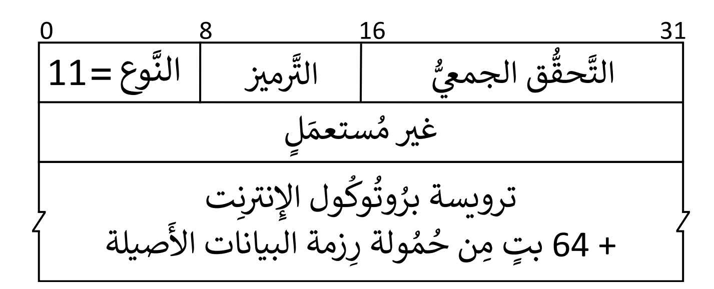
قِيمة حَقل التَّرميز	الحالة	الوصف
0	إعادة التَّوجيه نحو شَبكةٍ	إخبار مُضيفٍ أَرسَل رِزمة بياناتٍ سابِقةٍ بإعادة توجيه أيِّ رِزمةٍ مُستقبليَّةٍ إلى عُنوان الشَّبكة المُرفَق بالرِّسالة، أُبطِلت وَفقاً لِلوثيقة RFC 1812.[355]
1	إعادة التَّوجيه نحو مُضيفٍ	إخبار مُضيفٍ أَرسل رِزمة بياناتٍ سابِقةٍ بإعادة توجيهِ أيِّ رِزمةٍ مُستقبليَّةٍ إلى العُنوان المُرفَق بالرِّسالة.
2	إعادة التَّوجيه نحو شَبكةٍ بسبب نوع الخِدمة	مُطابِقةٌ لِحالة التَّرميز 0، مع إضافة شَرط أَن تَكُون قِيمة حَقل نوع الخِدمة في الرِّزمة المُستقبليَّة مُطابِقةً لِلقِيمة في الرِّزمة السَّابِقة.
3	إعادة التَّوجيه نحو مُضيفٍ بسبب نوع الخِدمة	مُطابِقةٌ لِحالة التَّرميز 1، مع إضافة شرط أَن تَكُون قِيمة حَقل نوع الخِدمة في الرِّزمة المُستقبليَّة مُطابِقة لِلقِيمة في الرِّزمة السَّابِقة. أُبطِلت وَفقاً لِلوثيقة RFC 1812.

نفاد الزَّمن

تُرسَل رِسالة نفاد الزَّمن في حالتين اثنتين:

1. بعد مُعالَجة رِزمة بيانات في مُوجِّه ما، إذا وَجَد المُوجِّه أن قِيمة حَقل زمن حياة الرِّزمة في ترويسة الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت مُساويةٌ لِلصِّفر. وعندها يَتخلَّص المُوجِّه مِن الرِّزمة مباشَرةً ويُرسِل الرِّسالة إلى مَصدَرها.
2. عند تجميع قِطع رِزمة بياناتٍ في الوِجهة، إذا نَفِد مُؤَقِّت الانتظار ولمَّا تَصِل القِطع كُلُّها بعدُ. وعندها يَتخلَّص المُضيف الوِجهة مِن القِطع الَّتي جَمَعها، ويُرسِل رِسالة نفاد الزَّمن إلى مَصدَرها.

يُبيِّن الشَّكل (6-7) بِنية رِسالة نفاد الزَّمن وحُقُولها، وهي مُميَّزةٌ بالقِيمة 11 لِحَقل النَّوع، يَليه حَقل التَّرميز، وتَكُون قِيمته إما 0 أو 1 وَفقاً لِلجدول (6-4)، ثُمَّ حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ سالِف الذِّكر، يَليه حَقلٌ غير مُستعمَلٍ طُوله 32 بتاً ثُمَّ ترويسة بروتُوكُول الإنترنِت الخاصَّة بالرِّزمة الَّتي سَبَّبت مُعالَجتها توليد هذه الرِّسالة، ثُمَّ البايتات الثَّمانية الأُولَى مِن حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة، والَّتي تَحوِي ترويسة بروتُوكُول النَّقل، إن وُجِد.



الشَّكل (6-7): بِنية رِسالة نفاد الزَّمن في بروتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت

[355] مِن أَجل إبطال الرِّسالتين ذواتي التَّرميزين 0 و3، انظر ص. 82 في [RFC1812] في ثَبت المَراجِع.

الجدول (6-4): قِيمتا حَقل التَّرميز في رِسالة نفاد الزَّمن ومعناهُما

قِيمة حَقل التَّرميز	الحالة	الوصف
0	نفاد زمن حياة الرِّزمة	بَلغَت قِيمة حَقل زمن حياة الرِّزمة في ترويسة الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الصِّفر.
1	نفاد مُؤقِّت الانتظار	انتهَى زمن الانتظار لِإعادة تجميع قِطع رِزمة بياناتٍ، وبعضٌ مِن القِطع لمَّا تَصِل بعدُ.

مُشكِلةٌ في مُحدِّدٍ

قد يُصادِف مُضيفٌ وِجهةٌ أو مُوجِّهٌ على مَسار رِزمة بياناتٍ مُشكِلةً ما في أَحد حُقول ترويسة الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في أَثناء مُعالَجتهما لِلرِّزمة، ومِثالها أن تَحتوِي حُقُول التَّرويسة قِيمةً غير صحيحةٍ أو غير مَدعُومةٍ. إذا مَنعت هذه المُشكِلة استمرار المُعالَجة، فلا بُدَّ عندها مِن التَّخلُّص مِن الرِّزمة، ثُمَّ إرسال رِسالة مُشكِلةٍ في مُحدِّدٍ إلى مَصدَرها. تَحتوِي الرِّسالة حَقلاً يُسمَّى حَقل المُؤَشِّر، يَستعمِله مُولِّد الرِّسالة لِلإشارة إلى مَوقِع البايت الَّذي سَبَّب المُشكِلة في ترويسة الرِّزمة، بالإضافة إلى احتواء الرِّسالة نُسخةً مِن التَّرويسة الَّتي سَبَّبت المُشكِلة لِتُساعِد المَصدَر في تحديدها.

يَلزَم أن يُولِّد كُلُّ مُوجِّهٍ رِسالة مُشكلةٍ في مُحدِّدٍ مِن أَجل أيِّ خطَأ مُعالَجةٍ غير مَشمُولٍ برِسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء الأُخرَى الخاصَّة ببرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت.

يُبيِّن الشَّكل (6-8) بنية رِسالة نفاد الزَّمن وحُقُولها، قِيمة حَقل النَّوع فيها 12، يَليه حَقل التَّرميز، وتَكُون قِيمته إمَّا 0 أو 1 وَفقاً لِلجدول (6-5)، ثُمَّ حَقل التَّحقُّق الجمعيّ، ثُمَّ حَقل المُؤَشِّر سالِف الذِّكر ثُمَّ ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت في الرِّزمة الَّتي سَبَّبت المُشكِلة مُرفَقةً بالبايتات الثَّمانية الأُولَى مِن حُمُولة الرِّزمة.

0	8	16 – 31
النَّوع = 12	التَّرميز	التَّحقُّق الجمعيُّ
مُؤَشِّرٌ	غير مُستعمَلٍ	
ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت + 64 بتٍ مِن حُمُولة رِزمة البيانات الأَصيلة		

الشَّكل (6-8): بنية رِسالة مُشكِلةٍ في مُحدِّدٍ في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت

الجدول (6-5): قِيمتا حَقل التَّرميز في رِسالة مُشكِلةٌ في مُحدِّدٍ ومعناهما

قِيمة حَقل التَّرميز	الوصف
0	حَقل المُؤَشِّر يُشير إلى مَوقِع الخطَأ.
1	يُوجَد خِيارٌ مَطلُوبٌ في التَّرويسة، ولكنَّه غير مَوجُودٍ فيها.

رسائِل الإعلام

وهي سِتُّ رسائِلَ، تُصنَّف وَفقاً لِلتَّالي:

- رِسالتا الصَّدَى، وهُما توليد الصَّدَى والصَّدى، وتُستخدَمان لِلتَّحقُّق مِن الاتِّصال بين طَرفين.
- رِسالتا اكتشاف المُوجِّه، وهُما الإعلان عن المُوجِّه والتماسه، وتُستخدَمان لِتعريف المُضيفِين على المُوجِّهات المُتَّصلة مع شَبكتهم المَحلِّيَّة.
- رِسالتا قِياس الزَّمَن، وهُما طَلب الوسمة الزَّمنيَّة والرَّدُّ عليه، وتُستعمَلان لِقياس الزَّمن اللَّازِم لِنقل رِزمة البيانات بين طَرفين.

وستُناقَش هذه الرَّسائِل في ما سيَأتي مِن هذا القِسم.

رِسالتا الصَّدَى

يَتبادل مُضيفان لِعُنوانين مِن الإصدار الرَّابِع مِن بروُتُوكُول الإنترنِت هاتين الرِّسالتين: يُرسِل الأَوَّل رِسالة توليد الصَّدَى إلى الآخر الَّذي يَتفاعَل معه بإرسال رِسالة الصَّدَى. تَحتوِي رِسالة توليد الصَّدَى عَدَداً مِن البايتات تُمثِّل الحُمُولة، ويَلزَم على رِسالة الرَّدِّ أي الصَّدَى، أن تَحتوِي حُمُولة رِسالة توليد الصَّدَى نفسَها.

يَلزَم أن تَكُون عناوين المَصدَر والوِجهة في رِسالة توليد الصَّدَى ورِسالة الصَّدَى مُتعاكِسةً، أي يَكُون عُنوان المَصدَر في رِسالة توليد الصَّدَى هُو عُنوان الوِجهة في رسالة الصَّدى، وعُنوان الوِجهة في رِسالة التَّوليد هُو عُنوان المَصدَر في رِسالة الصَّدى.

يُبيِّن الشَّكل (6-9) بِنية رِسالة توليد الصَّدَى وهي بِنية رِسالة الصَّدَى نفسُها. تَكُون قِيمة حَقل النَّوع 8 في رِسالة توليد الصَّدَى و0 في رِسالة الصَّدَى. أمَّا قِيمة حَقل التَّرميز، فهي 0 دائِماً في كِلتا الرِّسالتين. تَضمُّ التَّرويسة أيضاً حَقلان هُما المُعرِّف ورقم التَّتابُع،[356] يَضبُطهما مَصدَر رِسالة التَّوليد إلى أيِّ قِيمة عَدَديَّةٍ، وعلى الوِجهة أن تَضبُط قِيمة الحَقلين في رِسالة الرَّدِّ إلى القِيمة نفسِها. يُساعِد هذان الحَقلان المَصدَر على مُطابِقة رِسالة الصَّدَى المُستقبَلة مع رِسالة توليد الصَّدَى المُرسَلة في حال أُرسِلت أكثرُ مِن رِسالة توليدٍ في الوقت ذاتِه.

0	8	16	31
النَّوع	التَّرميز = 0	التَّحقُّق الجمعيُّ	
المُعرِّف		رَقم التَّتابُع	
بياناتٌ			

الشَّكل (6-9): بِنية رِسالة توليد الصَّدَى ورِسالة الصَّدى

[356] وأَصل اسميهما Identifier وSequence number على التَّرتيب.

رِسالتا اكتشاف المُوجِّه

آليَّة اكتشاف المُوجِّه هي تَوسِعةٌ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. لم تَكُن الآليَّة مَشمُولةً في المِعيار الرَّسميِّ لِلبرُوتُوكُول، بل صَدَرت صُدُوراً مُستقِلّاً ووُصِفت في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1256.[357] تَسمَح هذه الآليَّة لِمُضيفِين في شَبكات بياناتٍ تَدعَم البثَّ المَجمُوعاتيَّ أَو البثَّ العامَّ باكتشاف عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت الخاصِّ بالمُوجِّهات الجيران.

تُعرِّف التَّوسِعة رِسالَتَي إعلامٍ، هُما رِسالة الإعلان عن المُوجِّه ورِسالة التماسه. يُرسِل كُلُّ مُوجِّهٍ دوريّاً عبر مَنافِذه الَّتي تَدعَم البثَّ المَجمُوعاتيَّ كُلِّها رِسالة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ هي الإعلان عن المُوجِّه، وتَتضمَّن هذه الرِّسالة عناوينَ البثَّ المَجمُوعاتيِّ المَدعُومة فيه، ويُمكِن لِلمُضيفِين أَن يَكتشِفوا المُوجِّهات الجيران بالاستماع إِلى هذه الإعلانات. يُمكِن أَيضاً لِمُضيف عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ أَن يُرسِل رِسالة التماس، وهي رِسالة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ تَطلُب مِن أَيِّ مُوجِّهٍ يَستقبِلها أَن يُرسِل مَباشرةً رِسالة إعلانٍ عبر المَنفذ الَّذي اُستقبِلت مِنه، أَي أَنَّها آليَّةٌ تَسمَح لِلمُضيفِين بطَلب المَعلُومات مِن المُوجِّهات عند الحاجة عِوضَاً عن انتظار استقبال رسائِل الإعلان الدَّوريَّة.

يُبيِّن القِسم (أ) مِن الشَّكل (6-9) بِنية رِسالة الإعلان، وهي مُميَّزة بالقِيمة 9 لِحَقل النَّوع، أَمَّا قِيمة حَقل التَّرميز فيها فتَكُون صِفريَّةً دائِماً. لا طُولَ ثابِتاً لِلرِّسالة، بل يَتحدَّد طُولها وَفقاً لِعَدَد العناوين فيها، ويُخصَّص حقلٌ في الرِّسالة لِذلك يُسمَّى حَقل عَدَد عناوين المُوجِّهات.[358] يُرفَق كُلُّ عُنوانٍ بقِيمةٍ عَدَديَّةٍ تُحدِّد أَفضليَّته قِياساً على سائِر العناوين، وتَعنِي القِيمة الأَعلَى عُنواناً أَكثرَ تفضيلاً. فمثلاً، لو كانت قِيمة أَفضليَّة العُنوان الأَوَّل هي 5 وأَفضليَّة الآخر هي 6، فإنَّ العُنوان الآخرَ يَكُون مُفضَّلاً على الأَوَّل، أَي يُستحسَن استعماله.

تَحوِي رِسالة الإعلان أَيضاً حَقلاً هُو طُول البَند[359]، وهُو يُحدِّد طُول القِسم المُخصَّص لِكُلِّ عُنوانٍ بواحدةٍ هي 32 بتاً، وقِيمته هي 2 دائِماً، أَي يُخصَّص 64 بتاً لِكُلِّ بَندٍ، 32 بتاً مِنها لِلعُنوان يَليها 32 بتاً لِلأَفضليَّة.

تَتَضمَّن رسائِل الإعلان حَقلاً آخر هو زمن الحياة،[360] وهُو يُحدِّد المُدَّة العُظمَى الَّتي تكون فيها العناوين التي أُعلِن عنها صالِحةً للاستعمال. يَبدَأ أَيُّ مُضيفٍ استقبل رِسالة الإعلان بتشغيل مُؤَقِّت انتظارٍ تنازُليٍّ تُضبَط قِيمته العُليا وَفقاً لِقِيمة زمن الحياة في رِسالة الإعلان، ويُعيد المُضيف ضَبط هذا المُؤَقِّت إِلى قِيمته العُليَا كُلَّما استقبَل رِسالة إعلانٍ جديدةً، فإذا بَلغَت قِيمة المُؤَقِّت الصِّفر، فإنَّ العناوين المُستقبَلة في آخر رِسالة إعلانٍ تُصبِح غير صالِحةٍ لِلاستعمال. وسبب استعمال هذا المُؤَقِّت هُو ضمان أَن يَمتلِك المُضيفون آليَّةً لِاكتشاف تَوقُّف المُوجِّهات عن العمل، ثُمَّ تحديث جدول التَّوجيه بمُقتضَى التَّغير الحاصِل.

تُرسَل رسائِل الإعلان دوريّاً بفواصلَ زمنيَّةٍ تَتراوح بين 7 و10 دقائِقَ، ويَمتدُّ زمن الحياة 30 دقيقةً افتراضيّاً.[361]

---

[357] انظر [RFC1256] في ثَبت المَراجِع.

[358] أَصل الاسم Number of router addresses.

[359] أَصل الاسم Address entry size.

[360] أَصل الاسم Lifetime.

[361] انظر ص. 4 في [RFC1256] في ثَبت المَراجِع.

يُظهِر القِسم (ب) مِن الشَّكل (6-9) بِنية رِسالة التماس المُوجِّه وقِيمة حَقل النَّوع فيها 10، وفيما تَكُون قِيمة حَقل التَّرميز صِفريَّة دائِماً. تَحوِي الرِّسالة حَقلاً مَحجُوزاً طُوله 32 بتاً، يُضبَط إلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ في المُرسِل ثُمَّ يُهمَل ولا يُعالَج في المُستقبِل.

0	8	16	31
النَّوع = 9	التَّرميز = 0	التَّحقُّق الجمعيُّ	
عَدَد العناوين	طُول البَند	زمن الحياة	
عُنوان المُوجِّه 1			
أَفضليَّة العُنوان 1			
عُنوان المُوجِّه 2			
أَفضليَّة العُنوان 2			
⋮			

(أ) بِنية رِسالة الإعلان عن المُوجِّه

0	8	16	31
النَّوع = 10	التَّرميز = 0	التَّحقُّق الجمعيُّ	
مَحجُوزٌ			

(ب) بِنية رِسالة التماس المُوجِّه

الشَّكل (6-10): بِنية الرَّسائِل المُستعمَلة في آليَّة اكتشاف المُوجِّه في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

رِسالتا قِياس الزَّمن

الوسمة الزَّمنيَّة[362] هي عَدَدٌ طُوله 32 بتاً يُعبِّر بأَجزاءٍ أَلفيَّةٍ مِن الثَّانِية عن الزَّمن المُنقضِي مُنذ مُنتَصف اللَّيل وَفقاً لِلتَّوقِيت العالميّ.[363] تُؤَمِّن رِسالة طَلب الوسمة الزَّمنيَّة آليَّةً لِلإبلاغ عن لَحظة إرسال الرِّسالة مِن مَصدَرها ولَحظة وُصُولِها إلى وِجهتها ولَحظة إرسال الرَّدِّ عليها، ولِهذه الأَزمنة حُقُولٌ في رِسالة طلب الوسمة الزَّمنيَّة وفي رِسالة الرَّدِّ عليها.

يُبيِّن الشَّكل (6-11) بِنية رِسالة طلب الوسمة الزَّمنيَّة، وهي نفسُها بِنية رِسالة الرَّدِّ عليها أَيضاً. تَكُون قِيمة حَقل النَّوع في رِسالة الوسمة الزَّمنيَّة 13 وفي رِسالة الرَّدِّ عليها 14، أَمَّا قِيمة حَقل التَّرميز فهي 0 دائِماً في كِلتا الرِّسالتين.[364] تَضمُّ الرِّسالة حَقلين آخرين هُما المُعرِّف ورَقم التَّتابع، ويَضبُطهما مَصدَر الرِّسالة إلى أَيِّ قِيمةٍ عدديَّةٍ تُناسِبه، وعلى الوِجهة أَن تَضبُط قِيمة الحَقلين في رِسالة الرَّدِّ إلى القِيمة نفسِها. ويُساعِد هذان الحَقلان المَصدَر على مُطابقة رِسالة الرَّدِّ القادِمة مع رِسالة طلب الوسمة المُرسَلة في حال أُرسِلت أَكثرُ مِن رِسالة طَلب تتابُعاً.

عند إنشاء رِسالة طلب الوسمة الزَّمنيَّة، يَملَأ المَصدَر حَقل وسمة الأَصل الزَّمنيَّة في رِسالة الطَّلب وَفقاً لِساعته الدَّاخِليَّة، ويَضبُط قِيمة حَقلي وسمة الاستقبال الزَّمنيَّة ووسمة إعادة الإرسال إلى الصِّفر. أَمَّا عند إنشاء رِسالة الرَّدِّ، فإنَّ المُضيف الوِجهة يَنسَخ قِيمة وسمة الأَصل مِن رسالة طَلب الوسمة ثُمَّ يُضيف إليها قِيمتي وسمة الاستقبال ووسمة إعادة الإرسال وَفقاً لِساعته الدَّاخِليَّة، ثُمَّ يُرسِلها إلى مَصدَر رِسالة الطَّلب.

[362] أَصل الاسم Timestamp.

[363] أَصل الاسم Universal Time، اختصاراً UT. في زمن تطوير البرُوتُوكُول كانت خِدمة التَّوقيت في الإنترنِت Internet Clock Service، اختصاراً ICS، تحت إشراف مُختبَرات كُومسَات COMSAT Laboratories. لِلمزيد حول هذه الخِدمة انظر [RFC778] في ثَبت المَراجِع.

[364] انظر ص. 17 في [RFC792] في ثَبت المَراجِع.

0	8	16	31
التَّحقُّق الجمعيُّ		التَّرميز	النَّوع
رَقم التَّتابُع		المُعرِّف	
وسمة الأَصل الزَّمنيَّة			
وسمة الاستقبال الزَّمنيَّة			
وسمة إِعادة الإِرسال الزَّمنيَّة			

الشَّكل (6-11): بِنية رِسالة طَلب الوسمة الزَّمنيَّة ورِسالة الرَّدّ عليها في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

التَّطبيقات

أَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال[365]

هُو أَمرٌ برمجيٌّ مَدعُومٌ في شَبكات البيانات الَّتي تُشغِّل حُزمة برُوتُوكُولات الإنترنِت، يَهدُف إِلى التَّحقُّق مِن القُدرة على الاتِّصال مع مُضيفٍ لِعُنوانٍ مِن الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت عن طريق تبادُل رِسالتي توليد الصَّدَى والصَّدَى معه. تُرسَل رِسالة توليد الصَّدَى إِلى المُضيف الهدف، فإِذا ردَّ برِسالة الصَّدَى تُوجَد إِمكانيَّةٌ لإِنشاء اتِّصالٍ معه.

طُوِّر هذا الأَمر في مُختبَر أَبحاث الجيش الأَمريكيِّ في عام 1983م،[366] وسُميَّ بهذا الاسم كنايةً عن صوت السُّونَار عندما تَرتطِم أَمواجه الصَّوتيَّة بجسمٍ ما وتَرتَدُّ بعد ذلك عائِدةً باتجاه المَصدَر، وهذا هُو مَبدَأ عَمل الأَمر. دَعَمت أَشهر أَنظمة التَّشغيل هذا الأَمر، ومِنها على سبيل المِثال: لِينُكس[367] ووِيندُوز[368] وسِيسكُو[369].

يُبيِّن الشَّكل (6-12) لَقطة شاشةٍ لِأَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال مَأخُوذةً مِن نافِذة الأَوامر في نِظام التَّشغيل وِيندُوز 10، وفِيها فحصٌ لِوجُود الاتِّصال مع مَوقِع مُحرِّك البَحث گُوگِل. يُرسِل الأَمر 4 رسائِلَ توليد صدَىً طُول كُلٍّ مِنها 32 بايتاً، ويَردُّ المَوقِع المُستهدَف على كُلٍّ مِنها برِسالة صدَىً. وتُوضِّح لَقطة الشَّاشة الزَّمن الإِجماليَّ اللَّازم لِإرسال كُلِّ رِسالةٍ ولمُعالَجتها

---

[365] أَصل الاسم Ping، ويُقرَأ پِينگ، وهُو صَوت أَزيز الرَّصاص لغةً، وأَيضاً جُزءٌ مِن الاسم الإِنگليزيِّ لِلعبة كُرة الطَّاولة، وهُو مُشتَقٌّ مِن الصَّوت الَّذي يَنتُج عن مُمارستها (انظر ص. 870 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع)، وهُو أَيضاً صَوت كاشِف أَمواج السُّونار. وجَاء في مُعجَم الحاسِبات (ص. 213 في [BKA01]): «أَمرٌ يُستخدَم لِلتَّأكُّد مِن وُجود جِهازٍ مُعيَّنٍ في الشَّبكة ومِن فاعليته وإِمكانيَّة الاتِّصال به».

[366] طُوِّر هذا الأَمر على يد مَايك مُوس Mike Muss (1958-2000) وهُو مُبرمِجٌ أَمريكيٌّ حَصل على بَكالُوريُوس في الهندسة مِن جامعة جُونز هُوپكِنز في بَالتِيمُور، عَمِل لاحِقاً في مُختبَر أَبحاث الجيش الأمريكيِّ وطَوَّر برمجيَّاتٍ عديدةً أَهمُّها اختبار برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل Test Transport Control Protocol، المَعرُوف اختصاراً بالرَّمز TTCP، وأَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال سالِف الذِّكر، لِلمزيد انظر صفحته في [WEB12] في ثَبت المَراجِع.

[367] أَصل الاسم Linux، وهُو اسمٌ لِعائِلةٍ مِن أَنظمة التَّشغيل الرُّسوميَّة حُرَّة المَصدَر. مِن أَجل مَعلُوماتٍ عن الأَمر في عائِلة الأَنظمة هذه انظر ص. 115 في [STD07] في ثَبت المَراجِع.

[368] أَصل الاسم Microsoft Windows، وهُو اسمٌ لِعائِلةٍ مِن أَنظمة التَّشغيل الرُّسوميَّة المُحتكَرة الَّتي تُنتِجها شَركة مَايكرُوسُوفت. مِن أَجل مَعلُوماتٍ عن الأَمر في أَنظمة تشغيل وِيندُوز انظر ص. 170 في [STD08] في ثَبت المَراجِع.

[369] مِن أَجل مَعلُوماتٍ عن الأَمر في أَنظمة تشغيل سِيسكُو، انظر مثلاً ص. 14 في الفصل 43 في [STD05] في ثَبت المَراجِع.

ولِلرَّدِّ عليها مُقدَّراً بأَجزاءٍ أَلفيَّةٍ مِن الثَّانِية وحَقل زمن حياة الرِّزمة في كُلِّ رِسالة ردٍّ مُستقبَلةٍ وتحليلاً بسيطاً لِمُجمَل البيانات المَأخُوذة مِن الرِّزَم الأَربعة.

```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.18362.778]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Michel>ping www.google.com

Pinging www.google.com [172.217.19.228] with 32 bytes of data:
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=39ms TTL=53
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=47ms TTL=53
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=58ms TTL=53
Reply from 172.217.19.228: bytes=32 time=44ms TTL=53

Ping statistics for 172.217.19.228:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 39ms, Maximum = 58ms, Average = 47ms

C:\Users\Michel>
```

الشَّكل (6-12): لَقطة شاشةٍ لِأَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال في نافِذة الأَوامر في نِظام التَّشغيل وِيندُوز 10

أَمر تَتَبُّع المَسار[370]

هُو أَمرٌ بَرمجيٌ مَدعُومٌ في شَبكات البيانات الَّتي تُشغِّل حُزمة برُوتُوكُولات الإنترنِت، يَهدُف إلى تعقُّب المَسار الَّذي تَسلُكه رِزَم البيانات عند انتقالها مِن مَصدَرها إلى وِجهتها. يُقدِّم الأَمر بياناتٍ عن عَدَد القفزات على طُول المَسار وعن الزَّمن الَّذي استغرقته كُلٌّ مِنها.

جَرَت مُحاولاتٌ لِجعل هذه الأَداة جُزءاً مِن الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مِن خلال تعريف خِيارٍ خاصٍّ بها حَمل مُعرِّفه الرَّقم 82، وإِضافته إلى خِيارات الإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول،[371] بالإِضافة لِتعريف رِسالة إعلامٍ إضافيَّةٍ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم، مع قِيمةٍ مُميَّزة لِحقل النَّوع هي 30،[372] ولكنَّ المُحاولات السَّابِقة ظَلَّت تجريبيَّةً ولم تُطبَّق على نِطاقٍ واسِعٍ، ثُمَّ أُبطِلت في وقتٍ لاحِقٍ.[373]

طُوِّر، نتيجةً لِذلك، هذا الأمر اعتماداً على رِسالة توليد الصَّدَى ورِسالة الصَّدَى الخاصَّتين ببرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم تطويراً مُنفصِلاً وبطُرقٍ مُتنوِّعةٍ في أَنظمة التَّشغيل المُختلِفة، ومِنها أَنظمة لِينُكس[374] ووِيندُوز[375] وسِيسكُو[376].

يُبيِّن الشَّكل (6-13) لَقطة شاشةٍ لِأَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال مَأخُوذةً مِن نافِذة الأَوامِر في نِظام التَّشغيل وِيندُوز 10، وفيها فحصٌ لِلمَسار مع مَوقِع مُحرِّك البحث گُوگِل، ويَظهَر المَسار فيها مُكوَّناً مِن 11 قفزةً.

---

370 أَصل الاسم Traceroute.

371 انظر خِيار تَتَبُّع المَسار في المُلحَق أ في هذا الكِتاب.

372 انظر ص. 3-4 في [RFC1393] في ثَبت المَراجِع.

373 انظر ص. 5 في [RFC6814] في ثَبت المَراجِع.

374 انظر ص. 115 في [STD07] في ثَبت المَراجِع

375 أَصل الاسم في نِظام وِيندُوز Tracert، انظر ص. 172 في [STD08] في ثَبت المَراجِع.

376 مِن أَجل مَعلُوماتٍ عن الأَمر في أَنظمة تشغيل سِيسكُو، انظر مثلاً ص. 16 في الفصل 43 في [STD05] في ثَبت المَراجِع.

```
Command Prompt
Microsoft Windows [Version 10.0.18362.778]
(c) 2019 Microsoft Corporation. All rights reserved.

C:\Users\Michel>tracert www.google.com

Tracing route to www.google.com [216.58.206.228]
over a maximum of 30 hops:

  1     5 ms   715 ms     4 ms  192.168.43.118
  2     *        *        *     Request timed out.
  3    84 ms   251 ms   351 ms  10.4.2.12
  4   777 ms   307 ms   234 ms  10.231.23.252
  5   237 ms   201 ms   201 ms  93.8.130.77.rev.sfr.net [77.130.8.93]
  6   127 ms    99 ms    99 ms  241.10.136.77.rev.sfr.net [77.136.10.241]
  7   137 ms    99 ms    99 ms  241.10.136.77.rev.sfr.net [77.136.10.241]
  8   108 ms    99 ms    99 ms  72.14.218.124
  9   637 ms   100 ms   234 ms  108.170.244.225
 10   114 ms   237 ms   163 ms  216.239.48.151
 11   166 ms   228 ms   104 ms  par10s34-in-f4.1e100.net [216.58.206.228]

Trace complete.

C:\Users\Michel>
```

الشَّكل (6-13): لَقطة شاشةٍ لِأَمر تَتبُّع المَسار في نافِذة الأَوامر في نِظام التَّشغيل وِيندُوز 10

المُشكِلات

يُواجِه تنفيذ البرُوتُوكُول مَجمُوعةً مِن المُشكِلات المُرتبِطة بالأَمن والمُتمثِّلة بمَجمُوعةٍ مِن الهَجمات الَّتي تُصنَّف وَفقاً لِلهدف الَّذي تُشنُّ لِأَجله كما يَأتي:[377]

- هَجمات الغَمر، وهِي شَكلٌ مِن أَشكال هُجُوم حَجب الخِدمة، وفيه تُولَّد كميةٌ كبيرةٌ مِن البيانات لِغَمر الشَّبكة بها فيَتعذَّر استعمال الشَّبكة.
- الهَجمات الانفجاريَّة، وتَستهدِف إِيقاف عَمل كِيان البرُوتُوكُول أَو وَحدته في المُضيف الوِجهة، ويُشنُّ عادةً عبر إِرسال رِسالةٍ ذات بِنيةٍ مُحدَّدةٍ تُسبِّب مُعالَجتها خطأً يُوقِف الكِيان عن مُتابعة عمله.
- تسريب المعلومات، وهُو هُجُومٌ رَقميٌّ لا يُلحِق ضرراً بحدة ذاتِه، لكنَّه يَكشُف لِلمُهاجِمين عن بياناتٍ حسَّاسةٍ قد تُستعمَل في هَجماتٍ أُخرَى لاحِقةٍ.

في ما يَأتي، وصفٌ لِبعضٍ مِن الهَجمات الَّتي يُمكِن شَنُّها اعتماداً على رسائِل البرُوتُوكُول:

- هُجُوم السَّنافِر:[378] وهُو أَحد هَجمات الغَمر ويَهدُف إِلى حجب الخِدمة، وفيه يُرسِل مُضيفٌ بعيدٌ رِسالة صَدَىً مُوجَّهةً إِلى شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ مع عُنوان وِجهةٍ هُو عُنوان البثِّ العامِّ في تلك الشَّبكة. تُسبِّب هذه الرِّسالة عند انتشارها في الشَّبكة المَحلِّيَّة ردَّ المُضيفِين كُلِّهم عليها، ما يُسبِّب غمر الشَّبكة المَحلِّيَّة بعَدَدٍ كبيرٍ مِن الرَّسائِل في وقتٍ قصيرٍ، ويُؤَدِّي ذلك إِلى خروجها مِن الخِدمة، تُعالَج هذه المُشكلة بمَنع رِزم البثِّ العامِّ القادِمة مِن خارِج الشَّبكة المَحلِّيَّة.[379]

---

[377] أُصول الأَسماء هِي: Flood attack وBomb attack وInformation disclosure على التَّرتيب.

[378] السَّنفُور (الجمع: السَّنَافِر، بالفرنسيَّة: Les Schtroumpfs) هُو شخصيةٌ خياليَّةٌ صَغيرة الحَجم زرقاء اللَّون تَعيش في غابة في أُوروبة في العصور الوُسطَى، ابتكرها الرَّسام البلجيكيُّ پيير كُوليفُور (بالفرنسيَّة: Pierre Culliford) في العام 1958م، و أَصل اسم الهُجُوم Smurf attack وهُو كِنايةٌ عن صِغر طُول الرَّسائِل المُستعمَلة فيه مع كِثرة عَدَدها.

[379] انظر ص. 1 في [RFC2644] في ثَبت المَراجِع.

- هُجُوم أَمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال المُميتُ:[380] وهُو هُجُوم غَمرٍ وهُجُومٌ انفجاريٌّ فِي الوقت نفسِه، يَعتمِد على غياب طُولٍ مُحدَّدٍ لِرسائِل توليد الصَّدَى، ويَجرِي فيه إرسال رسائِل توليد صدَىً إِلى المُضيف المُستهدَف بالطُّول الأَعظم المُمكِنِ، وهُو 65336 بايتاً. بسبب طُولها الكبير، فإِنَّ هذه الرَّسائِل تُقطَّع إِلى عَدَدٍ كبيرٍ من القِطع فِي أَثناء عُبُورها الشَّبكة، وعلى المُضيف المُستهدَف تخزين القِطع المُستقبَلة قبل تجميعها لإِعادة إنتاج الرِّزمة الأَصيلة، ولا يَستطِيع المُضيف الرَّدَّ على أَيٍّ مِن القِطع قبل إِعادة تجميع الرِّسالة كامِلةً، فيُغمَر المُضيف بكمِّيَّة بياناتٍ كبيرةٍ لا قِوام له على تخزينها فيَنهار ويَتوقَّف عن العمل.[381]
- هُجُوم الوسِيط:[382] وهُو هُجوم تسريب مَعلُوماتٍ، وفيه تُوجَّه رِزَم البيانات الَّتي يُولِّدها المُضيف المُستهدَف كلُّها نحو وسيطٍ، يَطَّلِع عليها وقد يَنسخُها، قبل أَن يُوجِّهها إِلى هدفها. يُمكِن إعداد هذا الهُجُوم بواسطة رسائِل إِعادة التَّوجيه، وفيه يُطلَب مِن المُضيفِين توجيه رسائِلهم نحو المُهاجِم بدلاً مِن المَخرَج الافتراضيِّ، ويَعمِد المُهاجِم بعد نَسخ الرَّسائِل أَو التَّلاعب بمُحتوَاها إِلى إِعادة إِرسالها نحو المَخرَج الافتراضيِّ.

تُوجَد أَيضاً وثيقة طَلب تعليقاتٍ تَصِفُ الهَجمات الَّتي يُمكِن أَن تُشنَّ على برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل باستعمال برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم، ولها الاسم الرَّمزيّ RFC 5927.[383]

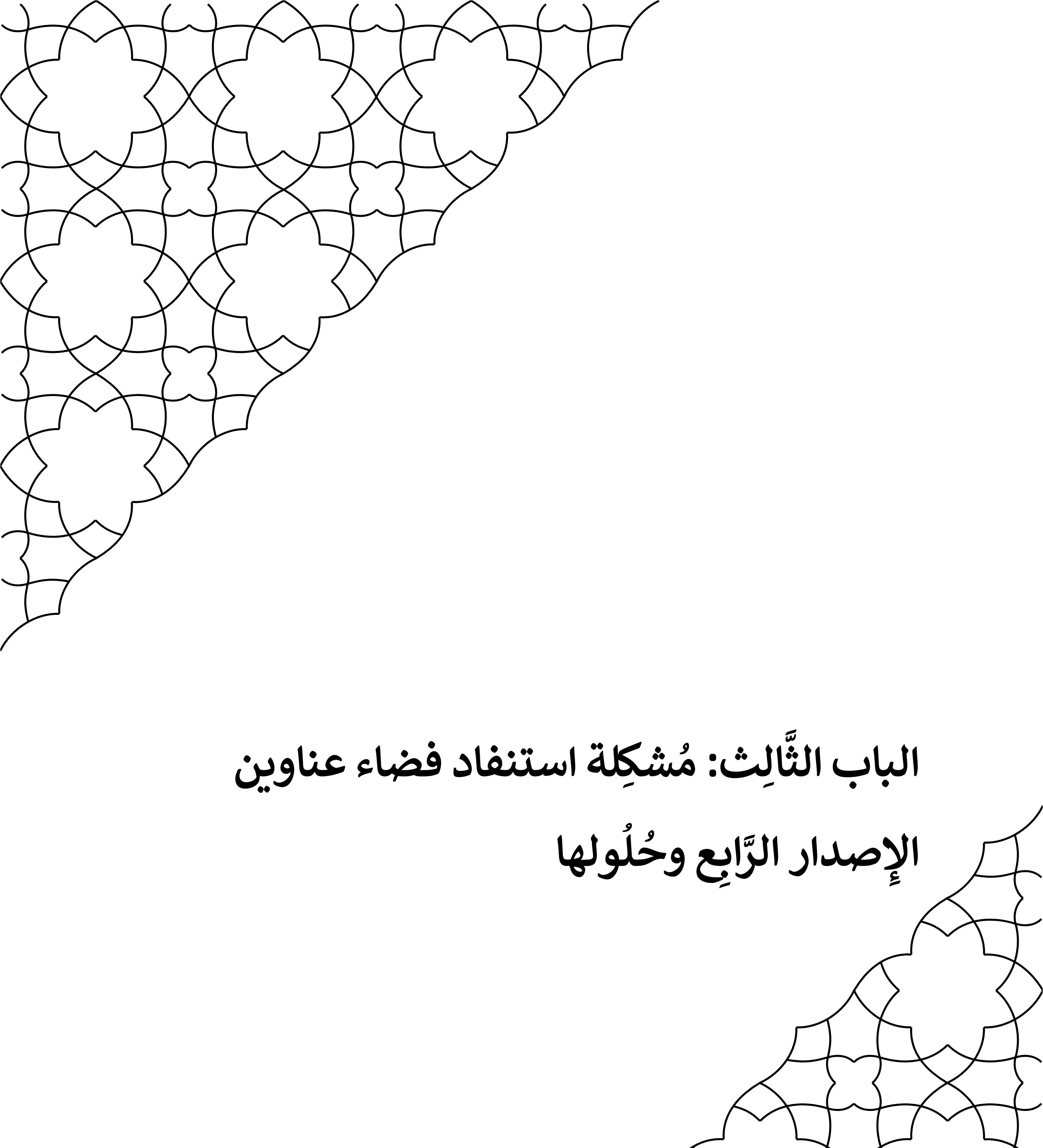
---

[380] أَصل الاسم Ping of death.

[381] انظر ص. 22 فِي [RFC6274] فِي ثَبت المَراجِع.

[382] أَصل الاسم Man-in-the-middle attack.

[383] انظرها فِي [RFC5927] فِي ثَبت المَراجِع.



الباب الثَّالِث: مُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإِصدار الرَّابِع وحُلُولها

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل السَّابِع: استنفاد فضاء عناوين الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت

مُقدِّمةٌ

استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع من برُوتُوكُول الإنترنِت[384] هُو نُضُوب العناوين الحُرَّة في فضاء عناوين البرُوتُوكُول. بَدَأت هذه المُشكِلة في مَطلَع التِّسعينيَّات مِن القرن العشرين مع انتشار الاستخدام التِّجاريِّ لِلإنترنِت، فقد لُوحِظ نُمُوُّ مُعدَّل استهلاك العناوين أُسِّيَّاً، وكانت التَّوقُّعات تُشير إلى استنفاد الفضاء كامِلاً في مُنتصف التِّسعينيَّات.

طُرِحت مَجمُوعةٌ مِن الحُلُول لِمُعالَجة هذه المُشكِلة وَفقاً لِإستراتيجيَّتين، الأُولَى قصيرة الأَمد، وتَهدُف لِإطالة الفترة المُتوقَّعة لِاستنفاد الفضاء، وتَشمُل تقنيَّتي ترجمة عُنوان الشَّبكة والتَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات. أمَّا الثَّانِية فهي طويلة الأَمد، وتَهدُف لِاستبدال برُوتُوكُول تشبيكٍ آخرَ ذي فضاءٍ أكبرَ حجماً بالإصدار الرَّابِع، وهذا البرُوتُوكُول الجديد هُو الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. ولكنَّ التَّوجيه غير الصَّنفيِّ كان حلَّاً فعَّالاً، فأَطال عُمْر الفضاء مُؤَخِّراً تبنِّي الإصدار السَّادِس ما يَقرُب مِن عقدين مِن الزَّمن، ولذلك تُوصَف هذه الآليَّة بأنَّها ضِمن "إستراتيجيَّةٍ مُتوسِّطة الأَمد".

استنفدت هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة، وهي الهيئَة النَّاظِمة لِتحصيص فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت على المُستوَى العالَميِّ، الفضاءَ كامِلاً في شهر يناير مِن العام 2011م، وبَدَأت بعدها سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة باستنفاد أَفضيتها تَتَابُعاً، وهذه السِّجلَّات مَسؤُولةٌ عن الإشراف على عمليَّة التَّحصيص على المُستوَى القارِّيِّ.

يَبدَأ هذا الفصل بخلفيةٍ عامَّةٍ تَشمُل استعراض خطٍّ زمنيٍّ يُركِّز على تَطوُّر مُشكِلة استنفاد فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ويليها شرحٌ مُفصَّلٌ لِآليَّة تحصيص فضاء عناوين البثِّ فريد الوِجهة فيه، ثُمَّ يَتناوَل بعد ذلك مراحلَ الاستنفاد ويُناقِش باختصارٍ الحُلُول المُقترحة لِمُعالجة المُشكِلة.

خلفيةٌ عامَّةٌ

نبذةٌ تاريخيَّةٌ

كما تَقدَّم في الفُصُول السَّابِقة، فقد بَدأَت الإنترنِت بصفتها مَشرُوعاً بحثيَّاً في سبعينيَّات القرن العِشرين، وكان العمل مُتركِّزاً على تطوير:

1) برُوتُوكُول نقلٍ يَدعَم الاتِّصال بين الطَّرفيَّات عبر قنواتٍ افتراضيَّةٍ تُنشَأ بصرف النَّظر عن عَتاد الشَّبكة والتِّقنيَّات المُستعمَلة، وتَمخَّضت عمليَّة التَّطوير هذه عن برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل.
2) برُوتُوكُول تشبيكٍ يَربُط الشَّبكات المُختلِفة ويَصِل بينها، وُضِع مِعياره في العام 1981م، وسُمِّي بالإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت كما جاء في الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب.

اُختير طُول عُنوان برُوتُوكُول التَّشبيك، في أَثناء التَّطوير، لِيَكون 32 بتاً بناءً على توقُّعاتٍ تَشمَل عَدَد المُؤَسَّسات الَّتي ستَتَصِل مع الشَّبكة وعَدَد الطَّرفيَّات في كُلٍّ مِنها، وأَصبح هذا الطُّولُ في ما بَعدُ طُولَ عُنوان الإصدار الرَّابع بعد صُدُور

[384] أَصل الاسم IPv4 address space exhaustion.

مِعياره الرَّسميّ. اُعتُمِد الإصدار الرَّابع، بعد أَقلّ من عامين، لِيكُون برُوتُوكُول التَّشبيك الرَّئِيس في الشَّبكة بدءاً مِن 1 يَناير 1983م.[385]

بَدَأ استعمال الإنترنِت لِأَغراضٍ تجاريَّةٍ في نهاية ثمانينيَّات القرن العشرين، ونَتَج عن ذلك نُمُوٌّ كبيرٌ في عَدَد المُؤَسَّسات المُتَّصِلة مع الشَّبكة، وأَظهَر هذا النُّمُوُّ نزعةً أُسِّيَّة تَرافَقت مع تسارعٍ في استنفاد فضاء عناوين البرُوتُوكُول، وخاصَّةً الطَّلب على أَفضية الصَّنف B.

أَصبح تبنِّي سِياسةٍ جديدةٍ لِتحصيص فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت نتيجةً لما سَبق أَمراً لازِماً، وإِلا فإِنَّ استنفاد الفضاء سيُعيق نُمُوَّ الإنترنِت. شَكَّلت مَجمُوعةُ مُهندِسي الإنترنِت، لِهذا الغرض، مَجمُوعةَ عمل التَّوجيه والعَنونة والمَعرُوفة اختصاراً باسم رُوْد[386] في شهر نُوفَمبر مِن العام 1991م، ونَجحت هذه المَجمُوعة في تعريف ثلاث مُشكِلاتٍ رئِيسةٍ ستُعيق نُمُوَّ الإنترنِت في المدَى المَنظُور:[387]

1. استنفاد فضاء عناوين الصَّنف B، نتيجةً لِغياب فضاء عناوين يُناسِب مُؤَسَّسةً مُتوسِّطة الحجم تَحتاج مثلاً إِلى 2-5 آلاف عُنوانٍ فريدٍ، ففضاء الصَّنف C صَغير الحَجم يَضمُّ 256 عُنواناً فقط، وهُو ما يَدفَع هذه المُؤَسَّسات لِاستعمال فضاءٍ مِن الصَّنف B يَضمُّ أَكثر مِن 65 أَلفاً مِن العناوين ويَفُوق حاجتها بكثير.
2. نُمُوُّ جداول التَّوجيه في مُوجِّهات الإنترنِت إِلى حدٍّ يَزِيد عن قُدرات المُعالجة المُتوفِّرة في برمجيَّات الشَّبكة وعَتادها.
3. استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابع كُلِّيّاً.

كانت التَّوقُّعات بحُصُول المُشكِلتين الأُولَى والثَّانِية، في الفترة بين العامِين 1993 و1995م، على عكس المُشكِلة الثَّالِثة الَّتي وُصِفت بأَنَّها طويلة الأَمد. بَدَأَت مَجمُوعة رُوْد العمل على تطوير إِستراتيجيَّةٍ قصيرة الأمد مِن أَجل المُشكِلتين الأُولَى والثَّانِية، فطُوِّرت تقنيَّة التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات[388] والَّتي ستُدرَس بالتَّفصيل في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب. نُشِر مَبدَأ التِّقنيَّة أَوَّلاً في يُونيُو مِن العام 1992م في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1338،[389] ثُمَّ وُسِّع في الوثيقة RFC 1519، الَّتي نُشِرت في سِپتَمبر مِن العام 1993م، وحَمَلت عُنوان: "التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات: إِستراتيجيَّة مَنح العناوين وتحصيصها".[390] صَدَرت الوثيقة RFC 4632 لاحِقاً في العام 2006م، وهي أَحدث توصيفٍ لِآليَّة التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات.[391]

---

[385] يُسمَّى هذا اليوم أَيضاً يوم العَلَم Flag day، لِلمزيد حوله انظر ص. 2 في [RFC801] وص. 2 في [RFC3789] في ثَبت المَراجِع.

[386] مِن الأَصل ROAD، ويَعني حرفيَّاً الطَّريق، وهُو مُختصَرٌ مِن الحرفين الأَولين مِن كلمتي التَّوجيه والعنونة Routing and addressing، لِلمزيد حول هذه المَجمُوعة انظر ص. 4 في [RFC1752] في ثَبت المَراجِع.

[387] انظر ص. 4 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

[388] أَصل الاسم Classless InterDomain Routing، اختصاراً CIDR، كما تَقدَّم.

[389] سُمِّيت التِّقنيَّة في مِعيارها الأَوَّل تجميع الأفضية Supernetting، تمييزاً لها عن تجزئة الفضاء، لِلمزيد انظر [RFC1338] في ثَبت المَراجِع.

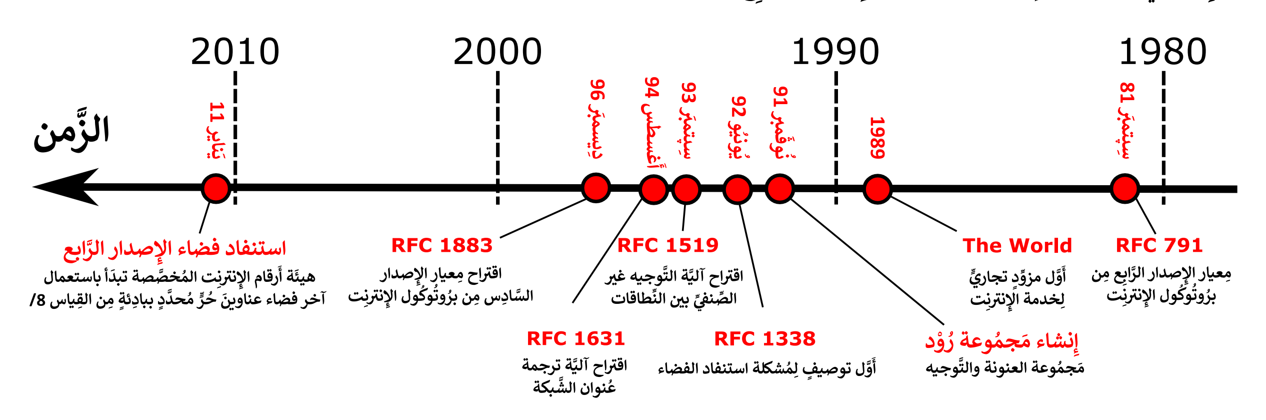
[390] أَصل الاسم Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy، انظر [RFC1519] في ثَبت المَراجِع.

[391] انظر وثيقة طَلب التَّعليقات ذات الصِّلة في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

طُوِّرت تقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة[392] في شهر مايو مِن العام 1994م، لِتكون حَلّاً آخرَ قصير الأمد لِمُشكِلة الاستنفاد، واعتَمَد هذا الحلُّ اعتماداً رئيساً على إعادة استعمال الأفضية الخاصَّة[393] استعمالاً مُتكرِّراً في عنونة الشَّبكات المَحلِّيَّة، والاقتصار على استعمال العناوين العامَّة عند النَّفاذ إلى الإنترنِت فقط، وقد خُصِّص الفصل التَّاسِع مِن هذا الكِتاب لِدراسة هذه التِّقنية.

طُوِّر إصدارٌ جديدٌ مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في إطار الإستراتيجيَّة طويلة الأمد هُو الإصدار السَّادِس، نُشِر المِعيار الأوَّل لِلبرُوتُوكُول في شهر دِيسَمبَر مِن العام 1995م، ووُصِف بوثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1883،[394] وسيُخصَّص الباب الرَّابِع كُلُّه في هذا الكِتاب لِمُناقشة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ومُلحَقاته.

كان الغرض الرَّئيس مِن تطوير الحُلُول ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأمد هُو توفير فترةٍ زمنيَّةٍ تَمتَدُّ بضعةً مِن السَّنوات لِحين تطوير حَلٍّ نهائيٍّ لِلمُشكِلة ضِمن الإستراتيجيَّة طويلة الأمد، ولكنَّ الحُلُول قصيرة الأمد بَلَغت مِن الفعَّاليَّة الغاية، فأطالت عُمْر الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِيَمتدَّ عقدين مِن الزَّمن حتَّى استُنفِد الفضاء كُلُّه أخيراً في شهر يَناير مِن العام 2011م (الشَّكل 7-1)، وتأخَّر، نتيجةً لهذه الفعَّاليَّة غير المُتوقَّعة، تبنِّي الإصدار السَّادِس لِيَكون برُوتُوكُول التَّشبيك الرَّئيس في الشَّبكة ولِيَحلَّ كُلِّيَّاً مَحلَّ الإصدار الرَّابِع.



الشَّكل (7-1): خطٌّ زمنيٌّ لِمُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

آليَّة تحصيص فضاء البثِّ فريد الوِجهة

أدارات هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة عمليَّة مَنح المُعرِّفات الرَّقميَّة اللَّازِمة لِعمل الإنترنِت منذ نشأتها، وأشرف عليها منذ البداية مَعهد تقانة المَعلُومات في جامِعة كالِيفُورنية الجنوبيَّة.[395] ولكن منذ شهر مَارس مِن العام 2000م، أشرَفت شركة

[392] أصل الاسم Network Address Translation، اختصاراً NAT، لِلمزيد انظر [RFC1631] في ثَبت المَراجِع.

[393] أصل الاسم Private networks، وهي 10.0.0.0/8 و172.16.0.0/12 و192.168.0.0/16، وهي أفضيةُ عناوينَ مَحجُوزةٌ لِتُستعمَل داخِل الشَّبكات المحليَّة فقط، ولا تُستعمَل أبداً لِعنونة المُضيفين في الإنترنِت، لِلمزيد حولها انظر [RFC1918] في ثَبت المَراجِع.

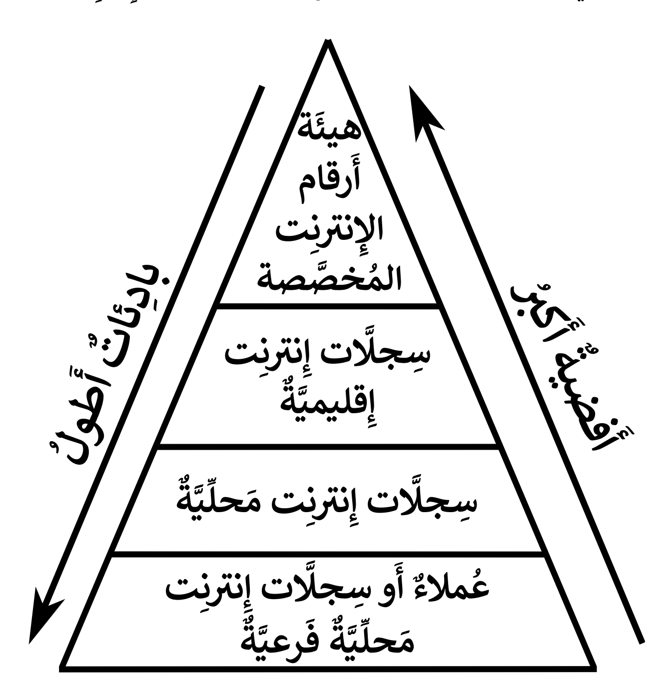
[394] انظر هذه الوثيقة في [RFC1883] في ثَبت المَراجِع.

[395] أصل الاسم University of Southern California Information Sciences Institute اختصاراً USC-ISI، وهُو أحد أقسام مَدرسة فِيتِربِي لِلهندسة Viterbi School of Engineering في جامِعة كالِيفُورنية الجنوبيَّة في الولايات المُتَّحِدة الأمريكيَّة، أُنشِئ في مَطلَع سبعينيَّات القرن العشرين ويَختَصُّ بتطوير أبحاث تقانة المَعلُومات والحَوسَبة والاتِّصالات. لِلمزيد حول تاريخ آليَّة التَّحصيص انظر ما جاء في ص. 2 في [RFC1174] في ثَبت المَراجِع.

الإنترنِت لِلأَرقام والأَسماء المُخصَّصة،[396] عبر هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة، على تحصيص فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[397]

يُعرَّف التَّحصيص بأنَّه مَنح فضاء عناوينَ جُزئِيٍّ لِسِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة أَو المَحلِّيَّة، أَمَّا التَّخصيص فهُو مَنح فضاء عناوينَ جُزئِيٍّ لِلعُملاء.[398] يَحصُل كُلٌّ مِن التَّحصيص والتَّخصيص بصفتهما جُزءاً مِن عمل آليَّة مَنح عناوينَ هرميَّةٍ مُكوَّنةٍ مِن أَربعة مُستوَياتٍ يُبيِّنها الشَّكل (7-2) كما يَلي:[399]

1. تُؤَمِّن هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة، المَوجُودة في رَأس الهرم، خِدمة التَّحصيص لِعَدَدٍ مِن سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة على أَساسٍ جُغرافِيٍّ.
2. تُزوِّد السِّجلاتُ الإقليميَّة السِّجلَّاتَ المَحلِّيَّة بأَفضيةٍ أَصغرَ حجماً وَفقاً لِحاجتها.
3. تُحصِّص السِّجلَّات المَحلِّيَّة عناوينَ لِلعُملاء مُباشرةً، أَو تُحصِّص مِن فضائِها لِسِجلَّات الإنترنِت المَحلِّيَّة الفَرعيَّة الَّتي تُخصِّص بدورها عناوينَ مِن حِصَّتها لِلعُملاء نحو مُزوِّدات خِدمة الإنترنِت أَو المُستخدِمين مُباشرةً.



الشَّكل (7-2): هرميَّة تحصيص فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

[396] رَاجِع ترجمة شركة الإنترنِت لِلأَرقام والأَسماء المُخصَّصَة في حواشِي الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب.

[397] في هذا السِّياق، يَلزَم الانتباه إلى أَنَّ هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة ليست مُستقِلَّةً، بل هي هيئَةٌ لِلإشراف تَختَصُّ بمهمَّةٍ مُحدَّدة مِن طَرف شركة الإنترنِت لِلأَرقام والأَسماء المُخصَّصَة. لِلمزيد حول العَلاقة بين الاثنين انظر ما جاء في ص. 4 في [RFC7020] ثَبت المَراجِع.

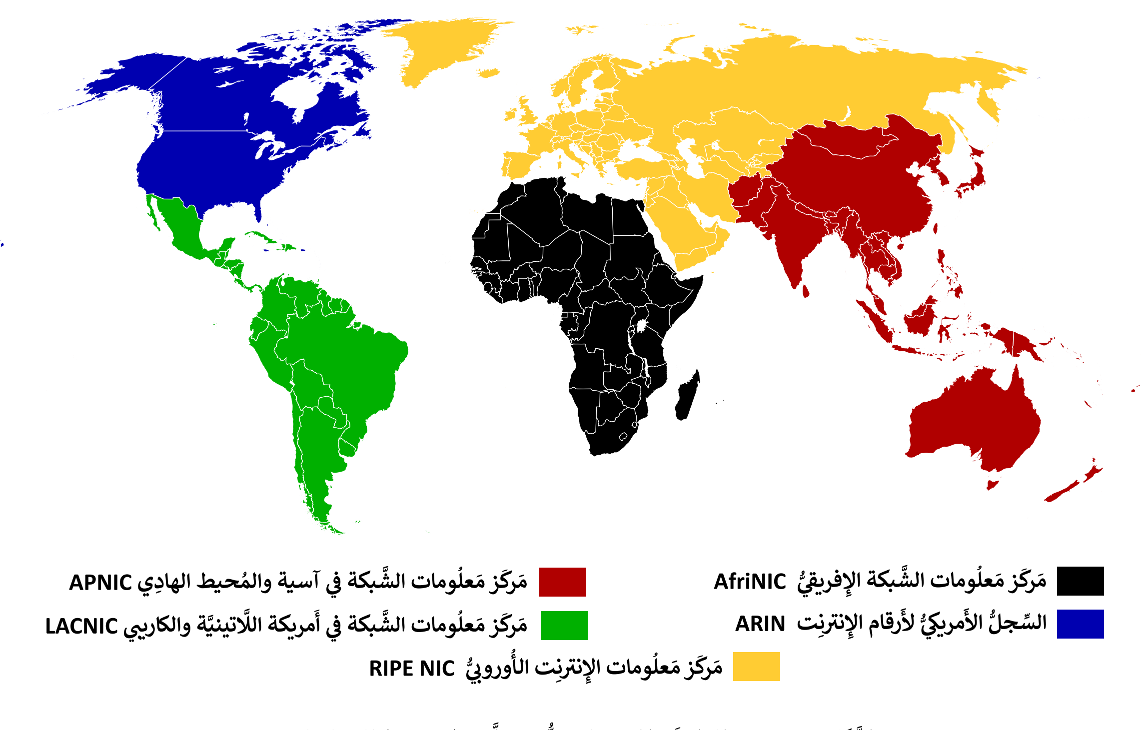
[398] التَّحصيص Allocation والتَّخصيص Assignment، انظر التَّعريب في ص. 48 وص. 83 في [BKA02] ثَبت المَراجِع. حَصَّص الشَّيء يُحَصِّصه تحصيصاً، أَي جَعله حِصصاً (انظر ص. 323 في [BKA03] في ثَبت المَراجِع)، وخَصَّص فُلاناً بالشَّيء يُخَصِّصه تخصيصاً، أَي جعل الشَّيءَ مُتعلِّقاً به (ص. 399 في المَرجِع السَّابِق).

[399] أُصول الأَسماء هي سِجلُّ إنترنِتٍ إقليميٌّ Regional Internet Registries اختصاراً RIR، وسِجلُّ إنترنِتٍ مَحلِّيٌّ Local Internet Registries، اختصاراً LIR، وسِجلُّ إنترنِتٍ مَحلِّيٌّ فَرعِيٌّ Sub-LIR وعميلٌ Customer ومُزوِّد خدمة الإنترنِت Internet Service Provider اختصاراً ISP.

أمَّا في ما يَخصُّ سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة، فعَدَدها خمسةٌ في العالم كُلّه وهي:[400]

- مَركَز مَعلُومات الشَّبكة الإفريقيُّ، ويَشمُل قارَّة إفريقيَّة كامِلةً.
- مَركَز مَعلُومات الشَّبكة في آسية والمُحيط الهادِي، ويُغطِّي اليابان والصِّين ومَنغُولية وشِبه الجزيرة الكُوريَّة وشِبه الجزيرة الهنديَّة الصِّينيَّة وما يُحيط بها والهند وباكستان وأَفغانستان وبحر الفلبين وما فيه مِن أرخَبيلات وإندُونيسية وأُسترالية ونيوزلندة وسائِر جُزر المُحيط الهادِي.
- السِّجلُّ الأمريكيُّ لأرقام الإنترنِت ويَشمُل الولايات المُتَّحِدة الأمريكيَّة وكَندا وبَعضاً مِن حوض البحر الكَاريبيِّ نحو جَامَايكة والبَاهَاما وبُورتُوريكو.
- مَركَز مَعلُومات الشَّبكة في أمريكة اللَّاتينيَّة والكَاريبيِّ، ويَمتدُّ على قارة أمريكة الجنوبيَّة كُلِّها وسائِر أمريكا الوسطَى وبعضاً مِن جُزر الكاريبيِّ نحو كُوبَا وهَايتي والدُّومنِيكَان.
- مَركَز مَعلُومات الإنترنِت الأُوروبيُّ، ويَشمُل المملكة المُتَّحِدة ودُول الاتِّحاد الأُوروبيِّ ورُوسية ووسط آسية والقُوقاز وإيران والبلاد العربيَّة الآسيويَّة كُلِّها.

يُظهِر الشَّكل (7-3) الامتداد الجُغرافِيَّ سابِق الذِّكر لِسِجلَّات الإنترنِت الخمسة على خريطة العالم السِّياسيَّة.



الشَّكل (7-3): خريطة العالَم السِّياسيَّة وتوزُّع سِجلَّات الإنترنت الإقليميَّة عليها

[400] أُصول الأَسماء بالتَّرتيب: African Network Information Centre اختصاراً AfriNIC، و Asia-Pacific Network Information Centre اختصاراً APNIC، وAmerican Registry for Internet Numbers اختصاراً ARIN، وLatin America and Caribbean Network Information Centre اختصاراً LACNIC، وبالفرنسيَّة: Réseaux IP Européens اختصاراً RIPE، وغالِباً ما تُضاف له عبارة Network Information Centre فيُصبِح اسمه المُختصَر الكامِل RIPE NCC.

أمَّا في ما يَخصُّ التَّحصيص، فتَتَّبع هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة سياسةً عامَّةً تَرتكِز على ثلاثة مَبادِئ:[401]

1. تُحصِّص الهيئَة فضاء العناوين إلى حِصصٍ مُحدَّدةٍ ببادِئةٍ مِن القِياس 8/، وتُمنَح هذه الحِصص إلى سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة.
2. تَلتزِم الهيئَة بتأمين حِصصٍ مِن أَفضية العناوين تَكفِي الحاجة المُستقبَليَّة لِسِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة لِفترةٍ لا تَقِلُّ عن 18 شهراً.
3. تَسمَح الهيئَة لِسِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة باعتماد إستراتيجيَّات تحصيصٍ وحجزٍ مَحلِّيَّة خاصَّةٍ بها لِضمان تحصيص الفضاء بأَكبر فعَّاليَّةٍ مُمكِنةٍ.

مراحِلُ الاستنفاد

انتشر الاستخدام التِّجاريُّ لِلإنترنِت في مَطلَع التِّسعينيَّات مِن القرن العشرين، وتَرافَق مع تطبيق تقنيَّات التَّجزئِة على أَفضية الأَصناف القِياسيَّة لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِإنجاز العنونة. ولكن مع استمرار تسارُع نُمُوِّ الإنترنِت، ظَهَرت الشُّكُوك حول إمكانيَّة استمرار تَوسُّع الإنترنِت في ظِلِّ سُرعة استنفاد فضاء العناوين. ففي شهر يُونيُو مِن العام 1992م مثلاً، استُنفِد 45% مِن فضاء الصَّنف B و38% مِن فضاء الصَّنف A.[402] ثُمَّ بَلَغت نِسبة الاستنفاد في مَطلَع العام 1994م نصف فضاء عناوين الصَّنف B مع توقُّعاتٍ باستنفاد النِّصف الآخر في غضون عامٍ واحِدٍ.[403] لِذلك، فقد اقتَرَحت مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت إستراتيجيَّةً جديدةً لِتحصيص فضاء العناوين سُمِّيت العنونة غير الصَّنفيَّة، بالإضافة لِآليَّةٍ جديدةٍ لِلتَّوجيه سُمِّيت التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات، وستُدرَس هذه الآليَّة، كما تَقدَّم، في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

انخفَض مُعدَّل استنفاد فضاء العناوين في عام 1995م بعد تطبيق آليَّة التَّوجيه غير الصَّنفيِّ (الشكل (7-4))، وأَصبَح مِن المُتوقَّع أَن يُستنفَد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في الفترة بين العامين 2005 و2011م.[404] في دراسةٍ أُجرِيت في العام 2005م، فُحِص مُعدَّل الاستنفاد في السَّنوات العشرة السَّابِقة، ووُضِع نمُوذَجٌ لِيَصِف عمليَّة استنفاد فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. بناءً على هذا النَّمُوذَج، وفي حال بقيت سياسة التَّحصيص كما هي بلا تغييرٍ، فقد كان مِن المُتوقَّع أَن تَستنفِد هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة أَفضية العناوين المُحدَّدة بالبادِئة 8/ ضِمن الفترة المُمتدَّة بين العامين 2011 و2016م.[405] وتوقَّعت دراسةٌ أُخرَى جَرت في العام 2007م حُصُول الاستنفاد في مُنتصف العام 2013.[406]

---

[401] انظر النَّصَّ الأَصيل لِلسِّياسة العامَّة على مَوقِع شركة الإنترنِت لِلأَرقام والأَسماء المُخصَّصَة على الإنترنِت في [WEB14] في ثَبت المَراجِع.

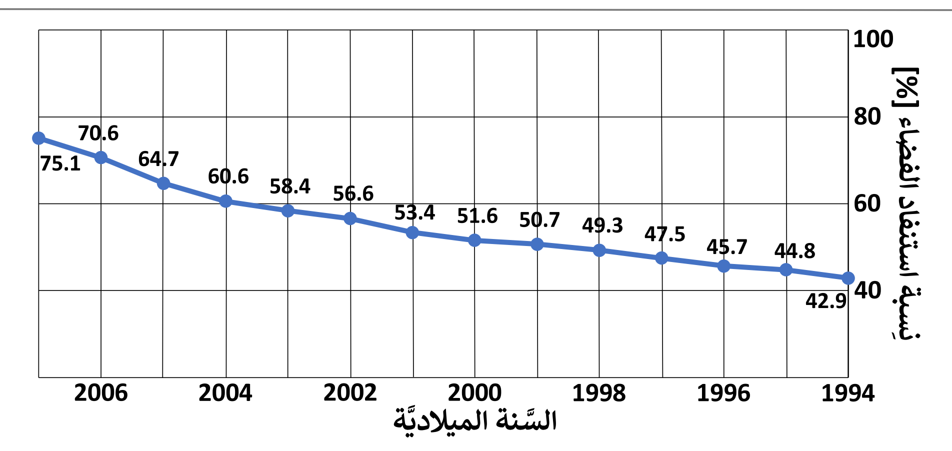
[402] انظر تفاصيل هذه الأَرقام في ص. 3 في [RFC1366] في ثَبت المَراجِع.

[403] انظر ص. 46 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[404] انظر ص. 7 في [RFC1752] في ثَبت المَراجِع.

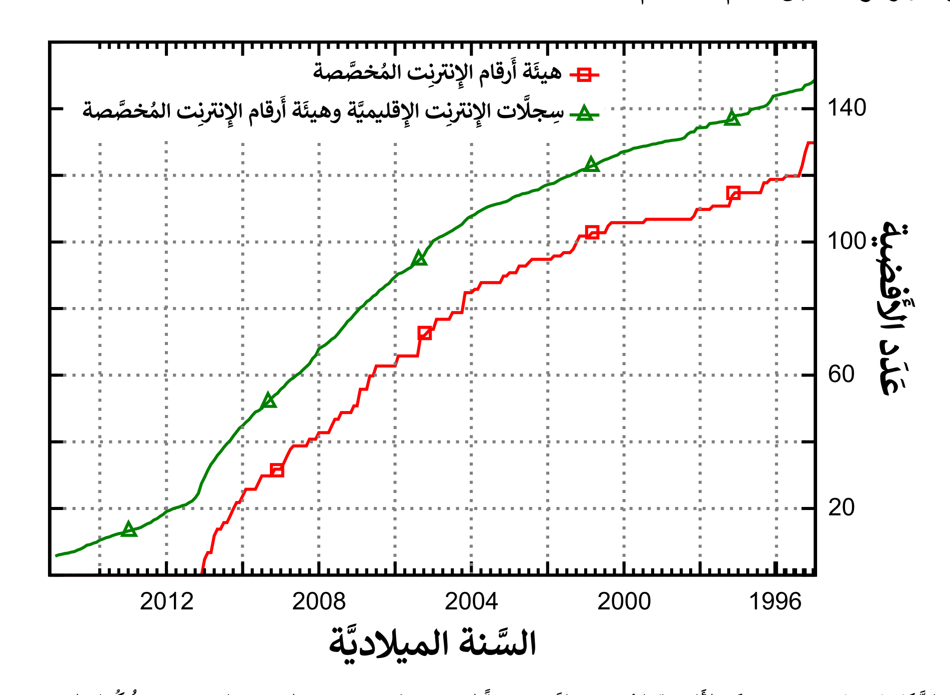
[405] انظر ما جاء في [ART45] في ثَبت المَراجِع.

[406] انظر [ART46] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (7-4): النِّسبة المِئويَّة لِفضاء الإصدار الرَّابع مِن بروتوكول الإنترنت المُستنفَد بين العامين 1994 و2007م (أخِذت الأرقام في اليوم الأوَّل مِن السَّنة)

اُستُنفِد الفضاء تدريجيَّاً كما يُبيِّن الشَّكل (7-5)، وتوازياً مع هذا الاستنفاد، سَعَت شركة الإنترنِت لِلأرقام والأسماء المُخصَّصَة إلى التَّعاون مع سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة مِن أجل تبنِّي سِياسةٍ مُوحَّدةٍ لِتحصيص ما تبقَّى مِن فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع من بروتُوكُول الإنترنِت. لِتحقيق ذلك، طَلبت شَركة الإنترنِت مِن السِّجلَّات في مَطلَع العام 2007م اقتراحاتٍ بخصوص سياسةٍ عامَّةٍ لِتنظيم هذا الشَّأن. فطَوَّرت، بناءً على ما قُدِّم إليها، ثلاث إصداراتٍ مُتتابِعةٍ لِسِياسة التَّحصيص طُرِح آخرها في شهر نُوفَمبَر مِن العام 2007م.[407]



الشَّكل (7-5): انخفاض عَدَد الأَفضية الحُرَّة عبر الزَّمن نتيجةً لِاستنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

صَادَّقت شركة الإنترنِت لِلأرقام والأسماء المُخصَّصَة على إستراتيجيَّةٍ عامَّةٍ مُكوَّنةٍ مِن طَورين لِمَنح ما تبقَّى مِن فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في شهر فِبراير مِن العام 2008م:[408]

---

[407] انظرها على موقع شركة الإنترنِت لِلأرقام والأسماء المُخصَّصَة في [WEB15] في ثَبت المَراجِع.

[408] أصل اسم السِّياسة Global Policy for Remaining IPv4 Address Space، وأصلا اسمي الطَّورين Existing phase وExhaustion phase على التَرتيب، انظر النَّصَّ الأَصيل لِإستراتيجيَّة على مَوقع شركة الإنترنِت في [WEB16] في ثَبت المَراجِع.

1. طَور الوفرة: وفيه تَستمِرّ هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة بتحصيص عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِسِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة باستعمال سِياسة التَّحصيص المُتَّبعة سلفاً، ويَستمِر هذا الطَّور حتَّى استقبال طَلب تحصيصٍ لا يُمكِن تلبيته، أَو يُلبَّى بتحصَّيص فضاء العناوين المُتبقِّي كامِلاً، بغضِّ النَّظر عن السِّجلِّ الَّذي قدَّم الطَّلب. تُجيب هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة الطَّلب وتُحصِّصه الفضاء المُتبقِّي كُلَّه، حتَّى ولو لم يَكُن كافِياً، ثُمَّ يَبدأ الطَّور الآخر بعدها.
2. طَور الاستنفاد: يَبدأ بعد نهاية طَور التَّوافُر، وتُباشِره هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة بتحصيص فضاء عناوينَ مَحجُوزٍ ومُحدَّدٍ بالبادِئَة 8/ لِكُلِّ سِجلِّ إنترنِت إقليميٍّ.

أَقرَّت شركة الإنترنِت لِلأَرقام والأَسماء المُخصَّصَة أَيضاً سِياسةً عامَّةً لِمَرحَلة ما بعد الاستنفاد، وفيه تَعمَل هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على تجميع أَجزاء فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع الَّتِي لم تُحصَّص، بالإضافة لِلأَفضية المُستعادة مِن سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة. يَلزَم على السِّجلَّات، وَفقاً لهذه السِّياسة، إعادة الأَفضية الجُزئِيَّة غير المُستعمَلة إلى هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة، مع إبلاغها عندما يُصبِح مُجمَل القِسم المُحصَّص مِن الفضاء أَقلَّ في حجمه مِن فضاءٍ مُحدَّدٍ بالبادِئة 9/، وعندها تُفعِّل الهيئَة آليَّة تحصيص هذا الفضاء.

انتهى طَور الوِفرة في نِهاية شهر يَناير مِن العام 2011م عندما مَنَحت هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة الفضاءَين: 39.0.0.0/8 و106.0.00.0/8 لِمَركَز مَعلُومات الشَّبكة في آسية والمُحيط الهادِي،[409] وتَلا ذلك، تفعيل طَور الاستنفاد ومَنح فضاءٍ مِن البادِئَة 8/ لِكُلِّ سِجلٍّ مِن سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة الخمسة. وبذلك استنفدت الهيئَة فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت كامِلاً.[410]

بعد ذلك، بَدأَت سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة باستنفاد أَفضيتها تِباعاً:

- استنفَد مَركَز مَعلُومات الشَّبكة في آسية والمُحيط الهادِي أَفضيته المُحدَّدة بالبادِئة 8/ في أَبريل 2011م،[411] وبَدَأ بعد ذلك طَوراً مَحلِّيّاً مِن سياسة الاستنفاد سمَّاه المرحلة الثَّالِثة، يُمكِن له فيها مَنح مُزوِّدات الخِدمة الوطنيَّة أَو المَحلِّيَّة أَفضيةً جُزئِيَّةً مُحدَّدةً ببادِئَاتٍ مِن المَقاس 22/ أَو مِن مَقاساتٍ أَطول.[412]
- استنفَد مَركَز مَعلُومات الإنترنِت الأُورُوبِيُّ أَفضيته ذات المَقاس 8/ في شهر سِبتَمبر مِن العام 2012م،[413] وبعد ذلك، مع نِهاية العام 2019م، استنفد المَركَز فضاءَه كامِلاً عندما حَصَّص آخرَ أَفضيته الحُرَّة المُحدَّدة بالبادِئة 22/ (الشَّكل (7-6)).[414]

[409] صَدر بيانٌ رسميٌّ في هذا الشَّأن عن مُنظَّمة المَوارد الرَّقميَّة Number Resource Organization اختصاراً NRO، وهي هيئةٌ تُشرِف على آليَّة تنسيق التَّعاون بين سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة الخمسة، انظر البيان في [WEB17] في ثَبت المَراجِع.

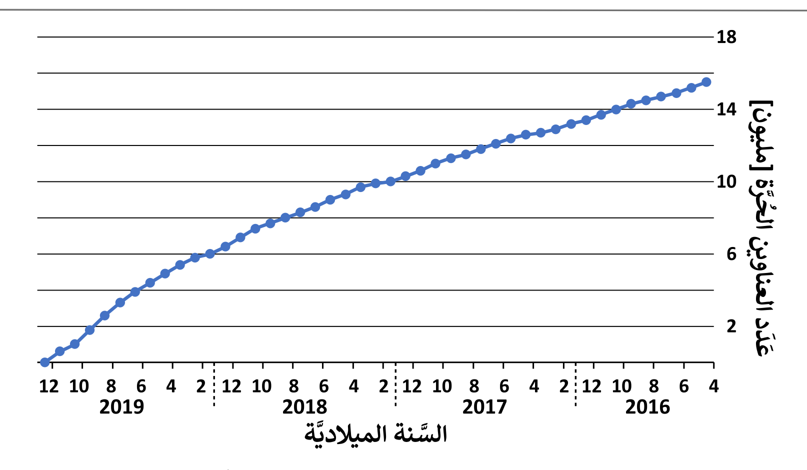
[410] يُمكن تَتَبُّع الأَفضية المَمنُوحة وتواريخ مَنحها مِن سِجلِّ هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على الإنترنِت في [WEB18] في ثَبت المَراجِع.

[411] انظر البيان الصِّحفي الصَّادِر عن المَركَز في [WEB19] في ثَبت المَراجِع.

[412] أَصل الاسم لِلمرحلة Stage 3، لِلمزيد حول سِياسة المَركَز في طَور الاستنفاد انظر [WEB20] في ثَبت المَراجِع.

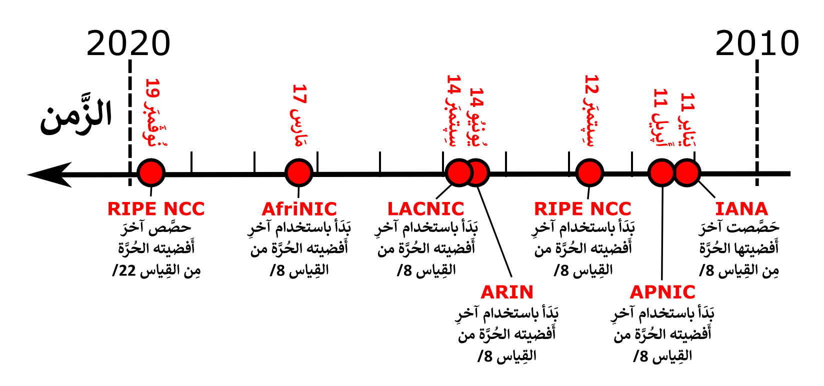
[413] انظر البيان الصِّحفِيَّ الصَّادِر عن المَركَز في [WEB21] في ثَبت المَراجِع.

[414] لِلمزيد حول سياسة المَركَز في طَور الاستنفاد انظر [WEB22] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (7-6): استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابع مِن بروتوكول الإنترنت في مَركز مَعلومات الإنترنت الأوروبيّ في الفترة بين أبريل 2016 وديسمبر 2019م

- استنفد مَركز مَعلومات أمريكة اللاتينيَّة والكاريبيّ أفضيته المُحدَّدة بالبادئة 8/ في شهر يُونيُو مِن العام 2014م، وابتدأ بعدها بطَورٍ ثالثٍ مِن سياسة التَّحصيص طُوِّرَ بالتَّعاون مع مُزوِّدات الخِدمة المَحلِّيَّة لِتحصيص الأفضية ذات البادئات الطُّولَى.[415] بالتَّوازي مع ذلك، فَعَّلت هيئَة أرقام الإنترنت المُخصَّصة "سِياسة ما بعد الاستنفاد وتحصيص فضاء العناوين المُستعاد"، وشَمُل هذا التَّفعيل آخرَ عمليَّة تحصيصٍ تُنجزها الهيئَة لِفضاءٍ مِن الإصدار الرَّابع مِن بروتوكول الإنترنت.[416]
- استنفد السِّجلُ الأمريكيُّ لِأرقام الإنترنت آخرَ أفضيته المُحدَّدة ببادِئةٍ مِن المقاس 8/ في سِبتمبَر مِن العام 2014م،[417] وبَدَأ بعدها بتطبيق سِياسةٍ خاصَّة لِعمليَّات المَنح لا تُلزِمه تلبية طَلبات التَّحصيص كُلِّها، بالإضافة لِتوجيه العُملاء نحو استعمال الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنت.[418]
- استنفد مَركز مَعلُومات الشَّبكة الإفريقيُّ آخرَ فضاءٍ مُحدَّدٍ ببادِئةٍ مِن القِياس 8/ في شهر مَارس مِن العام 2017م.[419]



الشَّكل (7-7): خطٌّ زمنيٌّ لِاستنفاد هيئَة أرقام الإنترنت المُخصَّصة وسِجلَّات الإنترنت الإقليميَّة لِفضاء الإصدار الرَّابع مِن برُوتوكول الإنترنت

[415] انظر البيان الصِّحفيَّ الصَّادِر عن المَركَز في [WEB23] في ثَبت المَراجِع.
[416] انظر البيان الصِّحفيَّ الصَّادِر عن شركة الإنترنت لِلأرقام والأسماء المُخصَّصة بخُصُوص فضاء العناوين المُستعاد في [WEB24] في ثَبت المَراجِع.
[417] انظر البيان الصِّحفيَّ الصَّادِر عن المَركَز في [WEB25] في ثَبت المَراجِع.
[418] لِلمزيد حول سِياسة المَركَز في طَور الاستنفاد انظر [WEB26] في ثَبت المَراجِع.
[419] انظر البيان الصِّحفيَّ الصَّادِر عن المَركَز في [WEB27] في ثَبت المَراجِع.

الحُلُول المُقترَحة

التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات

هُو حَلٌّ غير مُستدامٍ اُقترِح لِمُعالَجة مُشكِلة استنفاد فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأمد،[420] وستُدرَس هذه الآليَّة، كما أُسلِف، في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

هَدَف تطوير هذا الحلِّ إلى:

1. تنظيم عمليَّة المَنح بطريقةٍ تَسهُل بعدها عمليَّة تجميع المَسارات[421] مِن أَجل خفض أَحجام جداول التَّوجيه عالميَّاً.
2. تعريف قواعدَ جديدةٍ لِلعنونة مُغايرةٍ لِقواعد العنونة الصَّنفيَّة.

يُحصَّص فضاء العناوين بطريقةٍ مُتوافِقة مع طُوبُولُوجيا الإنترنِت لِتنفيذ الهدف الأَوَّل، فتَسهُل عمليَّة تجميع المَسارات وتَزداد فعَّاليَّة نِظام التَّوجيه العالَمِيِّ. أَمَّا تحقيق الهدف الثَّاني فتَتَطلَّب وَقف العمل بنِظام التَّحصيص القائِم على العنونة الصَّنفيَّة، واستعمال نِظامٍ يَعتمِد على العنونة غير الصَّنفيَّة، وهو يُقسِّم فضاء العناوين إلى أَفضيةٍ ذات أَحجامٍ مُتنوِّعةٍ وَفقاً لِلحاجة.

وُصِفت آليَّتا العنونة والتَّوجيه غير الصَّنفيّتان أَوَّلاً في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1338 في العام 1992م. وفي العام التَّالي، وتحديداً في شهر دِيسمبَر، صَدَرت الوثيقتان: RFC 1518، وكانت مُخصَّصةً لِلعنونة غير الصَّنفيَّة، وRFC 1519، وخُصِّصت لِلتَّوجيه غير الصَّنفيِّ. وأَخيراً، في العام 2006م، صَدَرت الوثيقة RFC 4632 وهي الوثيقة الأَحدث الَّتي تَتَناوَل هذا المِعيار.[422]

كانت آليَّة التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بُعيد تطويرها حَلَّاً ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد لِمُشكِلة استنفاد فضاء العناوين، وكان مِن المُتوقَّع أَن تُطِيل الأَمد اللَّازِم لِاستنفاد الفضاء كامِلاً لِفترةٍ تَتَراوح بين 3 و 5 سنواتٍ تُطوَّر خلالها حُلُولٌ أَكثرُ فعَّاليَّةً لِمعالَجة مسأَلتي العنونة والتَّوجيه. ولكنَّ فعَّاليَّة هذه الآليَّة تَجَاوزت التَّوقُّعات وأَطالت العُمْر المُتوقَّع لِلبرُوتُوكُول لِيَتجاوز 18 عاماً[423] وأَصبحت بذلك حَلَّاً مُتوسِّط الأَمد.[424]

---

[420] انظر ص. 73 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[421] انظره بالتَّفصيل في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

[422] انظر هذه الوثائِق على التَّرتيب في [RFC1338] و[RFC1519] و[RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

[423] أَخذاً بالحسبان أَنَّ وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1338 هي أَوَّل مِعيارٍ رَسميٍّ لِلتَّوجيه غير الصِّنفيِّ قد صَدرت في يُونيُو 1992م، في حين أَعلنت هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة عن استنفاد أَفضية العناوين المُحدَّدة ببادِئَةٍ مِن المقاس 8/ في شهر يَناير مِن العام 2011م،فإنَّ المُدَّة الفاصِلة بين الاثنين هي: 18 عاماً و7 شُهورٍ.

[424] أَصل الاسم Mid-term solution، وذُكِر بهذه الصِّيغة في ص. 5 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

ترجمة عُنوان الشَّبكة

هي تقنيَّةٌ تَسمَح لِمُنظَّمةٍ تُدير شَبكةً مَحلِّيَّة ما باستعمال أَحد أَفضية العناوين الخاصَّة[425] لِعنونة المُضيفين في تلك الشَّبكة، في الوقت نفسِه الَّذي تَستعمِل فيه عناوينَ عامَّةٍ فريدةٍ لِلسَّماح لِلمُضيفِين فيها بالاتِّصال مع الإنترنِت. تَحتاج هذه التِّقنيَّة إِلى مُوجِّه يُطابِق ويُبدِّل بين العناوين الخاصَّة والعامَّة، وتُسمَّى هذه العمليَّة التَّرجمة. يُمكِن أَن تَسمَح ترجمة العُنوان لِعَدَدٍ كبيرٍ مِن مُضيفي العناوين الخاصَّة المَوجُودين في الشبكة نفسِها بتشارك عَدَدٍ قليلٍ مِن العناوين العامَّة واستعمالها لِلوصُول إِلى الإنترنِت.[426] وستُدرَس هذه التِّقنيَّة بالتَّفصيل في الفصل التَّاسِع مِن هذا الكِتاب.

تُمكِّن تقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة مُضيفاً لا يَستضيف عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت فريداً عالَميَّاً مِن الاتصال مع مُضيفِين آخرين عبر الإنترنِت. قد يَكُون عُنوان المُضيف مِن فضاءٍ خاصٍّ أَو مَمُنوحاً مُسبقاً لِمُضيفٍ آخرَ أَو لِمُنظَّمةٍ أُخرَى، أَي لا يَجُوز استعماله لِلاتِّصال مع الإنترنِت. في الحالات كُلِّها، تَسمَح ترجمة العُنوان لِلمُضيف بالاتِّصال مع هدفه عبر الإنترنِت مِن خلال:

- تبديل عُنوانٍ آخرَ عامٍّ فريدٍ عالميَّاً بعُنوانه الخاصِّ المَحلِّيِّ في رزم البيانات الَّتي يُرسِلها عبر الإنترنِت.
- تبديل عُنوانه الخاصِّ المَحلِّيُّ بعُنوانه الفريد عالَميَّاً في رزم البيانات الَّتي تَرِد له مِن الإنترنِت.

طُوِّرت تقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة في العام 1994م لِتَكُون حلَّاً لِمُشكِلة استنفاد عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد، ووُصِفت أَوَّلاً في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1631، ثُمَّ عُدِّل المِعيار لاحِقاً وأُضيف إليه دَعم ترجمة عُنوان الشَّبكة ورَقم المَنفَذ ونُشِرت وثيقةٌ جديدةٌ في عام 2001م تحت الاسم الرَّمزيِّ RFC 3022، وأُصبحت مِعيار التِّقنيَّة منذ ذلك الحين.[427]

الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

هُو برُوتُوكُول تشبيكٍ لِشبكات البيانات، طُوِّر في عام 1995م لِيَكُون حَلَّاً ضِمن الإستراتيجيَّة طويلة الأَمد لِمُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. يُعرَّف الإصدار السَّادِس بِنيةً مُحدَّدةً لِرزمة البيانات وآليَّةً لِعنونة المُضيفِين عنونةً فريدةً بطريقةٍ تَسمَح بتوجيه الرِّزم مِن مَصدَرها إِلى وجهتها عبر شبكات البيانات، وقد خُصِّص الباب الرَّابِع كُلُّه مِن هذا الكِتاب لِدراسة هذا البرُوتُوكُول ومُلحَقاته.

يَبلُغ طُول عُنوان الإصدار السَّادِس 128 بتاً، أَي أَنَّه أَطول بأَربعة أَضعافٍ مِقارنةً طُول عُنوان الإصدار الرَّابِع. أَمَّا عَدَد العناوين في فضائِه، فهُو أَكبرُ 10^{28} ضِعفاً مُقارنةً بعَدَد العناوين في فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع. يُكتَب العُنوان باستعمال نِظام العدِّ ستَّة العَشريِّ، وفيه 32 مَرتَبةً. تَكُون المَرتَبة الَّتي تَقع في أَقصَى اليسار هي الأَكثر أَهمِّيَّةً. تُقسَّم المراتِب إِلى مَجمُوعاتٍ رباعيَّة عَدَدها 8 مَجمُوعاتٍ، تَفصِل بين كُلِّ مَجمُوعتين مُتتالِيتين مِنها نُقطتان رَأسيَّتان (:)، فمثلاً:

[425] أَصل الاسم Private address، انظرها في الفصل التَّاسِع من هذا الكِتاب.

[426] انظر ص. 264-265 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[427] انظر هاتين الوثيقتين على التَّرتيب في [RFC1631] و[RFC3022] في ثَبت المَراجِع.

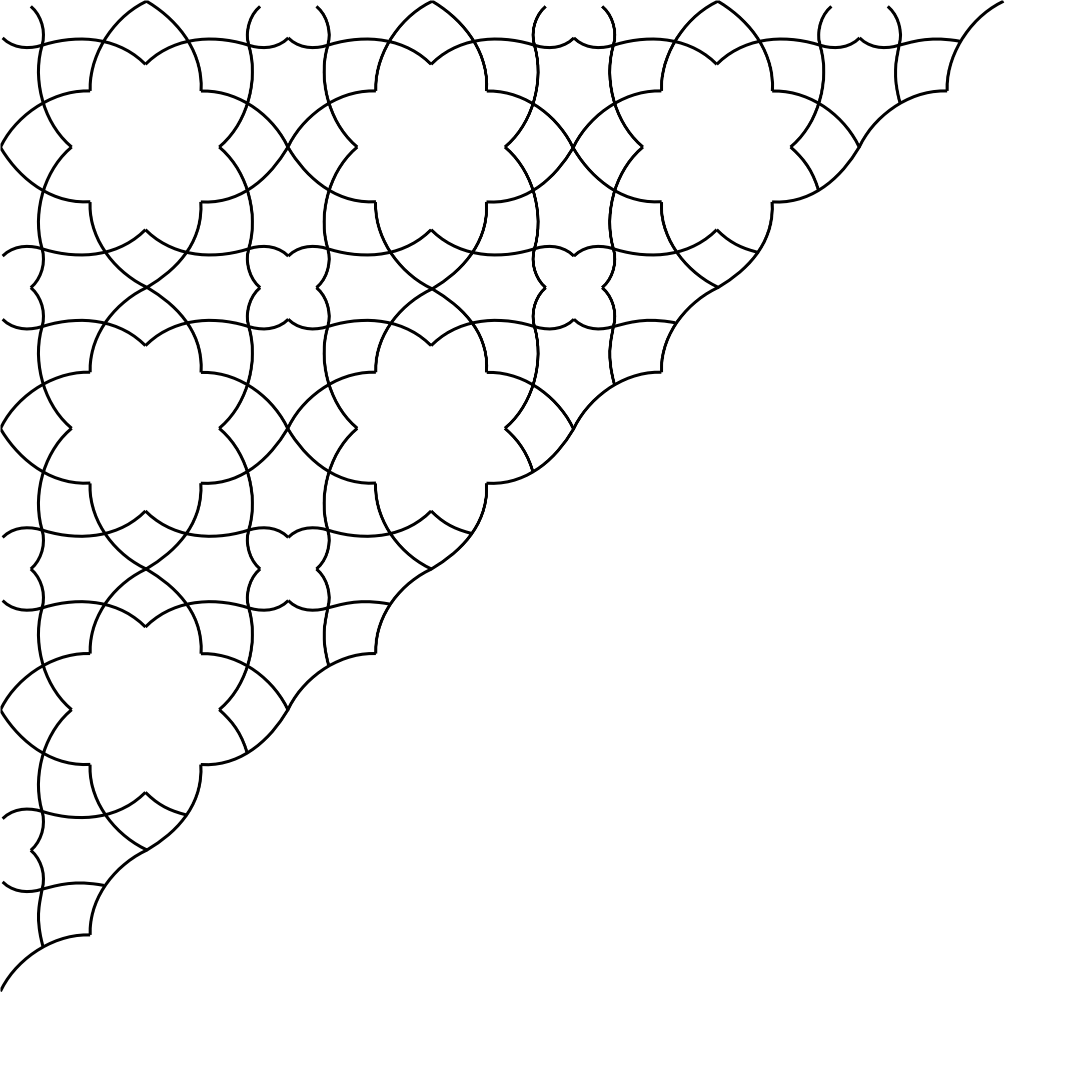
2000:abcd:ef00:0123:4567:89ab:cdef:0123

هُو مِثالٌ عن عُنوانٍ مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

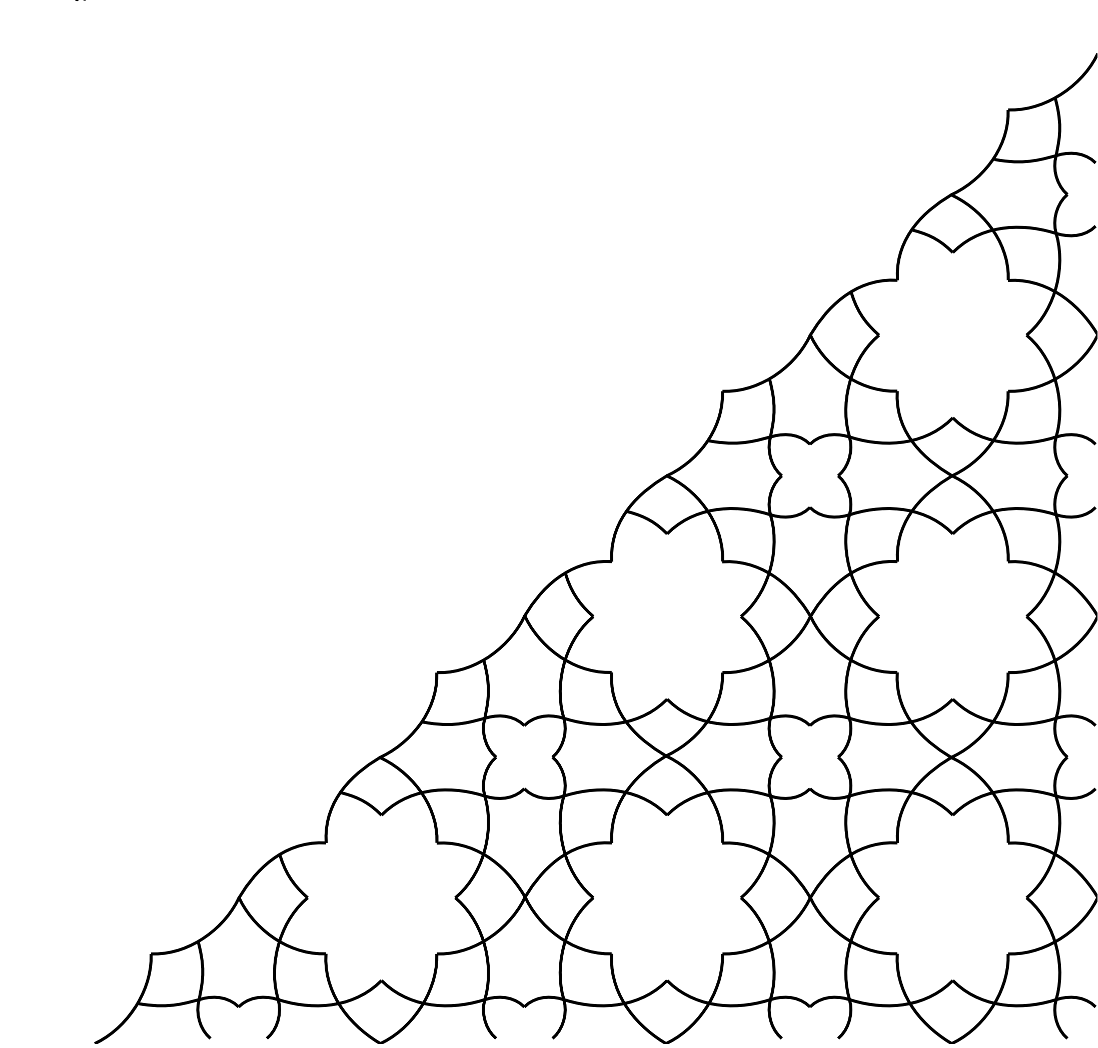
نُشِر المِعيار الأَوَّل لِلبرُوتُوكُول في دِيسمبَر مِن العام 1996م في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1883. ثُمَّ صَدَرت الوثيقة RFC 2460 بعد سنتين في شهر دِيسمبَر مِن العام 1998م، وظلَّت هذه الوثيقة هي المِعيار الرَّسميُّ لِلبرُوتُوكُول لِمُدَّة 19 عاماً، حتَّى صَدَرت الوثيقة RFC 8200 في شهر يُوليُو مِن العام 2017م لِتُصبِح المِعيار الرَّسميَّ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت منذ ذلك الحين.[428]

[428] انظر هذه الوثائِق على التَّرتيب في [RFC1883] و[RFC2460] و[RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل الثَّامِن: التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات



مُقدِّمةٌ

التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات[429] هُو حلٌّ ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد، مُوجَّهٌ لِمُعالَجة ثلاث مُشكِلاتٍ رئيسةٍ عَانت مِنها الإنترنِت في مَطلَع التِّسعينيَّات نتيجةً لِلتَّحوُّل مِن استعمالها من النِّطاق البحثِيِّ البحث إلى التِّجاريِّ، وهي: الاستنفاد الوشيك لِفضاء الصَّنف B ونُمُوُّ أَحجام جداول التَّوجيه نُمُوّاً يَفوق إمكانيَّات المُعالَجة المُتاحة والاستنفاد النِّهائِيُّ لِفضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

طُوِّر التَّوجيه غير الصَّنفيِّ في العام 1992م، وهُو يُعرِّف آليَّة عنونةٍ غير صَنفيَّةٍ لِتجزِئة فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. تَعتمِد الآليَّة على بادِئةٍ مُتغيِّرة الطُّول لِتحديد أَقسام العنوان عِوضاً عن أَطوال الأَقسام الثَّابِتة المُعرَّفة مُسبَقاً، والَّتي مَيَّزت العنونة الصَّنفيَّة. بالإضافة لذلك، واعتماداً على العنونة غير الصَّنفيَّة، يَصِف التَّوجيه غير الصَّنفيِّ آليَّةً لِتجميع المَسارات تَسمَح بضمِّ عَدَدٍ مِنها بعضُها مع بعضٍ لِتكوين مَسارٍ جديدٍ فتَحدُّ من نُمُوِّ أَحجام جداول التَّوجيه.

مع أَنَّ التَّوجيه غير الصَّنفيِّ قد طُوِّر ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد لِحَلِّ مُشكِلة الاستنفاد، إلا أَنَّه بلغ من الفعَّاليَّة الغاية، فأَطال العُمر المُتوقَّع لِفضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِأَكثر مِن عقدين مِن الزمن، لِذلك يُشار إليه أَيضاً بوصفه حَلّاً مُتوسِّط الأَمد لِمُشكِلة استنفاد عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

يبدَأ هذا الفصل بنبذةٍ تاريخيَّةٍ تَعرِض السِّياق العامَّ لِتطوير التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات بصفته حَلّاً لِمُشكِلة الاستنفاد، يَليها شرحٌ لِآليَّة العمل مَقسومٌ لِقسمين: العنونة غير الصَّنفيَّة والتَّوجيه بين النِّطاقات. يُناقِش القِسم الأَوَّل تدوين البادِئة وكيفيَّة عمل هرميَّة التَّحصيص. أَمَّا الآخر، فهُو مُخصَّصٌ لِتناول عمليَّة تجميع المَسارات وقواعد التَّوجيه الإضافيَّة والمُشكِلات الَّتي تَنتُج عنها.

نبذةٌ تاريخيَّةٌ

طُوِّر الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في مطلع عقد الثَّمانينيَّات مِن القرن العشرين، كما تقدَّم في الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب، لِيُؤَدِّي وظيفة عنونة المُضيفِين برمجيّاً.[430] يُعرِّف البرُوتُوكُول، لِتحقيق ذلك، فضاءً مِن العناوين يَبلُغ طُول كُلٍّ مِنها 32 بتاً. يُكتَب عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول باستعمال التَّدوين العَشري المُنقَّط، وفيه يُقسَّم العُنوان إلى أَربع خاناتٍ، في كُلٍّ مِنها 8 بتاتٍ، وتَكُون الخانة الواقِعة في أَقصَى اليسار هي الخانة الأُولَى، والبت الواقِع في أَقصَى يسارها هُو البت الأَكثر أَهمِّيَّة. تُكتب قِيم كُلِّ خانةٍ بِنظام العدِّ الثُّنائِيِّ أَوَّلاً ثم تُنقَل القِيمة إلى نِظام العدِّ العَشريِّ، وتُوضَع نقاطٌ لِتَفصِل بين الخانات الأَربعة. إنَّ القِيم في كُلِّ خانةٍ تَتَراوح بين: $(0)_{10} = (00000000)_2$ و$(255)_{10} = (11111111)_2$، لأَنَّ طُول الخانة مُحدَّدٌ بثمانية بتاتٍ.

---

[429] أَصل الاسم Classless InterDomain Routing، اختصاراً CIDR، كما تَقدَّم.

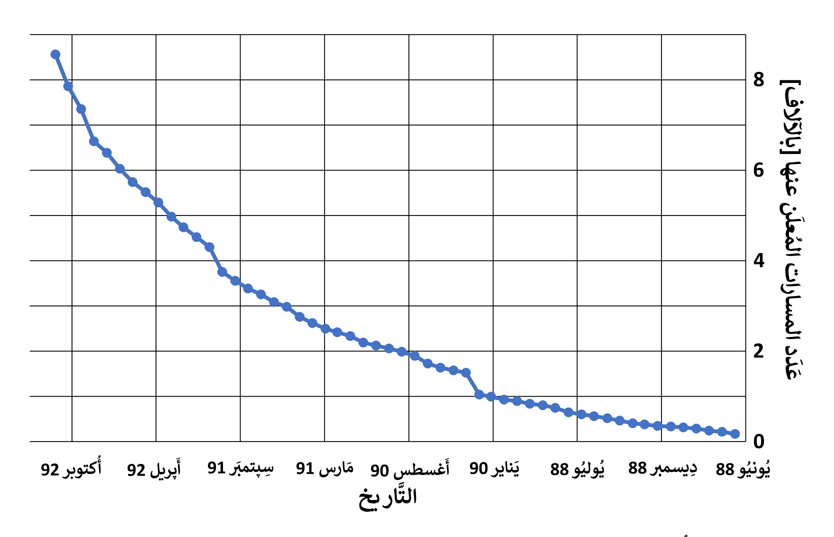
[430] أَصل الاسم Logical addressing، وتُعرَّب خطأً إلى العنونة المَنطقيَّة، فكلمة Logical هُنا لا تُفيد مَعنَى المَنطِق هُنا، بل تُشير إلى مَعنى "غير ماديٍّ" أَي ما لا يُمكِن تحسُّسه أَو لمسه، ويُقابِلها في العربيَّة كلمة "مَعنويٍّ" ولكنَّ هذه الكلمة لا تَصحُّ في هذا السِّياق أَيضاً، فارتَأينا الاجتهاد وتعريبها إلى العُنوان البرمجيِّ لِأَنَّ العُنوان يَكُون ضِمن برمجيَّات المُضيف لا في عَتاده.

كما تَقدَّم في الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب، فقد قُسِّم فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت رِياضيّاً إلى عَدَدٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة ذات الأَطوال القِياسيَّة، وسُمِّيت هذه الأَفضية أَصنافاً، وهي:

- الصَّنف A والصَّنف B والصَّنف C، وهي مُخصَّصةٌ لِلبثِّ فريد الوِجهة، وتَشغُل هذه الأَصناف فضاء العناوين أَغلبه (7/8 مِن مُجمَل الفضاء).
- الصَّنف D، وخُصِّص لِلبثِّ المَجمُوعاتيِّ الَّذي نُوقِش في الفصل الخامِس مِن هذا الكِتاب.
- الصَّنف E، وحُجِز لِاستعمالاتٍ مُستقبليَّةٍ.

بَدَأَ الاستخدام التِّجاريُّ لِلإنترنِت في مَطلَع التِّسعينيَّات، كما ذُكِر في الفصل السَّابِع مِن هذا الكِتاب، وتَزايد معه الطَّلب على أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت تزايداً سريعاً ما هَدَّد باستنفاد الفضاء كامِلاً في غُضُون سنواتٍ قليلةٍ، والسَّبب في ذلك هُو آليَّة العنونة الصَّنفيَّة الَّتي لم تَكُن قادِرةً على الاستجابة لِمُتطَّلبات العُملاء، ففضاءٌ قياسيٌّ مِن الصَّنف C يَحتوِي 256 عُنواناً فقط، وهُو عَدَدٌ صغيرٌ لا يَكفِي المُنظَّمات مُتوسِّطة الحجم ولا كبيرة الحجم. أَمَّا فضاء الصَّنف B، فيَحتوِي 65536 عُنواناً، وهُو عَدَدٌ كبيرٌ يَفُوق بأَضعافٍ عديدةٍ حاجة المُنظَّمات الكبيرة. ولكن، وبسبب عدم وُجُود حلٍّ وسطٍ يُتيح فضاءً جُزئيّاً أَكبرَ مِن أَفضية الصَّنف C وأَصغرَ مِن أَفضية الصَّنف B، فقد عَمِدت المُنظَّمات إلى طَلب أَفضيةٍ مِن الصَّنف B، مع أَن عَدَد العناوين في هذه الأَفضية يَفُوق حاجتها، وسَبَّب ذلك استهلاكاً سريعاً وغير فعَّالٍ لِفضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

ازداد عَدَد الأَفضية المُعلَن عنها زيادةً أُسيةً نتيجةً لما سبق، ففي حين احتاج العَدَد المُعلَن 8 أَشهرٍ لِيَزداد مِن الأَلف إلى الأَلفين بين يَناير وأَغسطُس مِن العام 1990م، فإنَّ العَدَد ارتفع بمِقدار أَلفين تقريباً في ثلاثة أَشهرٍ فقط بين سِبتمبَر ودِيسمبَر مِن العام 1992م لِيَتخطَّى حاجز 8 آلاف مَسارٍ مُعلَنٍ عنه في أُكتُوبر 1992م (الشكل 8-1)،[431] ونشَأ تَخوُّفٌ مَشرُوعٌ مِن أَنَّ سُرعة استنفاد الفضاء ستُعيق نُمُوُّ الإنترنِت عن طريق زيادةٍ كبيرةٍ في عَددَ المَسارات المُعلَن عنها تَفُوق قُدرة المُعدَّات المُتوفِّرة لِمعالَجتها.



الشَّكل (8-1): الزيادة أُسِّيَّة الطَّابِع في عَدَد المَسارات المُعلَنة في الإنترنِت في الفترة بين يُوليُو 1988 ودِيسمبر 1992م

[431] انظر بيانات هذا الشَّكل في ص. 8 في [RFC1519] في ثَبت المَراجِع.

بَدَأ العمل على تطوير تقنيَّةٍ جديدةٍ لِلعنونة والتَّوجيه لِتخفيض عَدَد المَسارات المُعلَن عنها تزامناً مع ما سَبق، فنُشِر مَبدَأ التَّوجيه غير الصَّنفيّ بين النِّطاقات لِلعُموم في يُونُيو مِن العام 1992م في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1338 تحت عُنوان "تجميع الأَفضية: إستراتيجيَّةٌ لِتحصيص وتخصيص العناوين"،[432] ثُم نُوقِشت التِّقنيَّة مُناقَشةً مُوسَّعةً في أَربع وثائِق طَلب تعليقاتٍ نُشِرت في سِپتمبَر مِن العام 1993م، تَقع أَرقامها التَّسلسليَّة بين 1517 و1520،[433] وأَهمُّها الوثيقة RFC 1519، الَّتي حَمَلت عُنوان: "التَّوجيه غير الصَّنفيّ بين النِّطاقات: إستراتيجيَّة مَنح وتحصيص العناوين"[434].
صَدَرت الوثيقة RFC 4632 لاحِقاً في العام 2006م، وهي أَحدث توصيفٍ لِآليَّة التَّوجيه غير الصَّنفيّ بين النِّطاقات.

آليَّة العمل

العنونة غير الصَّنفيّة

اُقترِحت العنونة غير الصَّنفيّة لِأَجل تخفيض مُعدَّل استنفاد فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وخاصَّةً الصَّنف B مِنه. ولكن استعمالها تَطلَّب التَّخلِّي عن آليَّة العنونة المُستخدَمة سابِقاً، وهي العنونة الصَّنفيّة، واستعمال العنونة غير الصَّنفيّة بدلاً عنها، وفيها لا أَصنافَ قياسيَّةً مُحدَّدة الطُّول، بل يُمنَح العميل أَفضيةً جُزئِيَّةً تَتَناسَب مع حاجته، ولا تَحصُل عمليَّة المَنح مُباشَرةً، وإِنَّما اعتماداً على هرميَّة تحصيصٍ يَشغُل العميل مُستوَاها الأَدنَى، وقد نُوقِشت هذه الهرميَّة بالتَّفصيل في الفصل السَّابِع مِن هذا الكِتاب.

تدوين البادِئة

تُعرِّف العنونةُ غير الصَّنفيّة البادِئةَ[435] على أَنَّها طريقةٌ لِتمثيل فضاءٍ جُزئِيٍّ مُحدَّدٍ مِن الفضاء الكُلِّيِّ لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. ولِكلِّ بادِئةٍ طُولٌ مُحدَّدٌ، يَتراوح بين 0 و32،[436] وكُلَّما كانت البادِئة أَطول، كان الفضاء الَّذي تُمثِّله أَصغرَ حَجماً. تَدعَم العنونة غير الصَّنفيّة آليَّةً هرميَّةً مُتعدِّدة المُستوَيات لِتحصيص فضاء العناوين إِلى حِصصٍ أَو أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ صغيرةٍ تَتَناسَب مع حاجة المُنظَّمات أَو المُؤسَّسات الَّتي تَرغَب في الاتِّصال بالإنترنِت.

في العنونة الصَّنفيّة، يُحدِّد صَنف عُنوان البثِّ فريد الوِجهة أَطوال أَقسامه وهي: البتات المَحجُوزة ومُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المُضيف. أَمَّا في العنونة غير الصَّنفيّة، فلا أَصنافَ قياسيَّةً، بل يُقسَّم عُنوان البثِّ فريد الوِجهة وَفقاً لِلحاجة إِلى قِسمين (الشَّكل (8-2)):

1. البادِئة، طُولها b_{pfx} بتاً، وتَبدَأ مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّةً في العُنوان، وتُمثِّل القِسم المُشترَك بين العناوين الَّتي تَنتمِي لِلفضاء نفسِه، ويُمكِن نظريّاً أَن يَكُون طُولها أَيُّ قيمةٍ صحيحةٍ تَتَراوح بين 0 و 32. يُمثِّل طُول البادِئة أَيضاً عَدَد

[432] أَصل الاسم Supernetting: an Address Assignment and Aggregation Strategy.

[433] انظرها على التَّرتيب في [RFC1517] و[RFC1518] و[RFC1519] و[RFC1520] في ثَبت المَراجِع.

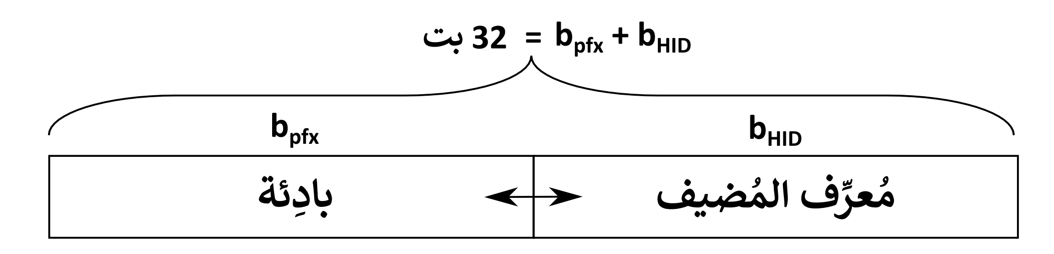
[434] أَصل الاسم Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy

[435] أَصل الاسم Prefix،انظر ص. 906 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع.

[436] لم يَسبُق تحصيص أَفضيةٍ مُحدَّدةٍ ببادِئات أَقلّ مِن 8/، ولكن تُوجَد حالاتٌ خاصَّةٌ تَظهَر فيها بادِئاتٌ أَصغرُ طُولاً نحو 0 أَو 1 في جداول التَّوجيه عند استخدام تجميع المَسارات أَو لِأَغراضٍ أُخرَى، لِلمزيد حول هذا الشَّأن انظر ص.8 في [RFC4632] ثَبت المَراجِع.

الوِحدان المُتتالِيةِ في قِناع الفضاء، ولذلك فهُو يُضاف إِلى يمين عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت، على أَن تَفصُل شريطةٌ مائِلةٌ، أَي "/" بينهما.

2. مُعرِّف المُضيف، طُوله b_{HID} بتاً، ويَشغَل ما تَبقَّى مِن العُنوان، ويُمثِّل قِيمةً فريدةً تُميِّز المُضيف ضِمن فضاء العناوين الجُزئِيِّ.



الشَّكل (8-2): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في العنونة غير الصَّنفيّة

فمثلاً: 10.0.0.0/8 تَعنِي أَن البتات الثَّمانية الأَكثر أَهمِّيَّةً في العُنوان، أَي الَّتي تُشكِّل الخانة الأُولى، هي بادِئة الفضاء. أَمَّا سائِر البتات الأَربعة والعُشرون، فهي الَّتي تُشكِّل مُعرِّف المُضيف. يُمكِن حِساب طُول مُعرِّف المُضيف بطَرح طُول البادِئة مِن طُول العُنوان الإجماليِّ b_{IPv4} وهُو 32 بتاً في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. في المِثال السابق، سيَكُون طُول مُعرِّف المُضيف $b_{HID} = b_{IPv4} - b_{pfx} = 32 - 8 = 24$، ولهذا العَدَد أَهمِّيَّةٌ في تحديد عَدَد العناوين في الفضاء الَّذي تُمثِّله البادِئة كما تَقدَّم في الفصل الرَّابِع مِن هذا الكِتاب.

هرميَّة التَّحصيص

تُحصَّص موارد الإنترنِت وَفقاً لِآليَّةٍ هرميَّةٍ تُشرِف عليها سِجلَّات الإنترنِت. وتَشمُل هذه الموارد عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت وأَرقام الأَنظمة المُستقِلَّة. طُوِّرت هرميَّة التَّحصيص في ضوء إستراتيجيَّةٍ تَرنُو إِلى ثلاثة أَهدافٍ رئِيسةٍ:[437]

- إدارة وتحصيص فضاء العناوين: فضاء عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت فضاءٌ مُنتهٍ يَضمُّ عَدَداً مَحدُوداً مِن العناوين، لِذلك يَلزَم إنجاز أَيِّ عمليَّة تحصيصٍ تُلبِّي حاجة العُملاء ضِمن حدود سِعة الفضاء.
- التَّحصيص الهرميُّ، الَّذي يَسمُح بتجميع المَسارات وخفض عَدَد البُنُود في جداول التَّوجيه في نِظام التَّوجيه العالَميِّ. فيُحافِظ عليها صغيرة الحجم في الإنترنِت قدر الإمكان، لِإنجاز التَّوجيه بفعَّاليَّةٍ.
- التَّفرُّد[438]، أَي أَن يُحصَّص العُنوان مرَّةً واحِدةً فقط لا غير في وقتٍ واحِدٍ، أَي يَكُون العُنوان أَو الرَّقم فريداً، ويُميِّز مُضيفاً أَو نِظاماً مُستقِلّاً تمييزاً لا يَقبَل اللَّبس.

بالعودة إِلى هرميَّة التَّحصيص المُبيَّنة بالشَّكل (7-2) في الفصل السَّابِق، يَقَع العميل الَّذي يَحصُل على فضاءٍ جُزئِيٍّ مُخصَّصٍ في قاعِدة هرم التَّحصيص، وهُو المُستوَى الرَّابِع والأَخير في الهرميَّة، أَمَّا المُستويات الثَّلاثة الأُولَى، فهي بدءاً مِن رَأس الهَرَم مُرتَّبةٌ كما يَلِي: هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة، ثُمَّ سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة ويَليها سِجلَّات الإنترنِت المَحلِّيَّة.

[437] للمزيد انظر ص. 3 في [RFC7020] في ثَبت المَراجِع.

[438] أَصل الاسم uniqueness، وunique، وتَعنِي وحيدٌ أَو فريدٌ (انظر ص. 1286 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع)، والفريد هُو الواحِد الَّذي لا نظير له، أَمَّا التَّفرُّد فهو مَصدَر تَفرَّد (انظر ص. 924-925 في [BKA03]).

تَشغُل هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة، المُستوَى الأَعلَى مِن الهرم، وتَمنَح بادِئاتٍ قصيرةً تُمثِّل أَفضيةً جُزئِيَّةً كبيرة الحجم لِسِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة. في الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت مثلاً، تَمنَح هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة السِّجلَّات الإقليميَّة أَفضيةً جُزئيَّةً مُحدَّدة ببادِئة مِن المَقاس ‎/8، أي يَضمُّ كُلٌّ مِنها 2^{24} عُنواناً. تَنشُط سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة على مَنطقةٍ جُغرافيَّةٍ واسِعةٍ قد تَشمُل قارَّةً كامِلةً أَو أَكثرَ مِن ذلك، ثُمَّ يُجزِّئ كُلُّ سِجلٍّ إنترنِتٍ إقليميٍّ الفضاء الَّذي حَصَل عليه إلى أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ أَصغرَ حجماً، أي مُحدَّدة ببادِئاتٍ أَطولَ، مثلاً، قد يَنتُج عن التَّقسيم أَفضيةٌ جُزئيَّةٌ تَضمُّ 2^{17} عُنواناً، أي مُحدَّدة بالبادِئة ‎/15، أو تَضمُّ 2^{11} عُنواناً، أي مُحدَّدةً بالبادِئة ‎/21، أو غير ذلك وَفقاً لِلحاجة. ثُمَّ تُمنَح هذه البادِئات لِمُزوِّدات الخِدمة الوطنيَّة أَو إلى مُزوِّدات خِدمةٍ مَحلِّيَّة، فيُحصِّص كُلٌّ مِنها فضاءَه الجُزئِيَّ تحصيصاً مُماثِلاً لِتَنتُج أَفضيةٌ جُزئِيَّةٌ أَصغرُ، مُحدَّدةٌ ببادِئاتٍ أَطولَ، تُمنَح إلى مُزوِّدات خِدمةٍ مَحلِّيَّة أَو مُزوِّداتٍ مَحلِّيَّةٍ فَرعيَّةٍ أَو تُخصَّص[439] لِلعُملاء مُباشَرةً.[440]

يُبيِّن الشَّكل (8-3) مِثالاً عن عمليَّة مَنح فضاءٍ تَمرُّ بثلاث مراحلَ:

1. تُحصِّص هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة الفضاء 172.0.0.0/8 لِلسِّجلِّ الأَمريكِيِّ لِأَرقام الإنترنِت.
2. يُجزِّئ السِّجلُّ الأَمريكِيُّ الفضاء إلى أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ أَصغرَ، ثُمَّ يُحصِّص الفضاء 172.1.128.0/8 لِمُزوِّد خِدمة إنترنِت مَحلِّيٍّ.
3. يُجزِّئ مُزوِّد خِدمة الإنترنِت المَحلِّيِّ الفضاءَ إلى أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ أَصغرَ، ثُمَّ يُخصِّص عميلاً بالفضاء الجُزئِيِّ 172.1.140.192/27، وفيه 32 عُنواناً يَصلُح 30 مِنها لِعنونة المُضيفِين.



الشَّكل (8-3): مِثالٌ عن عمليَّة مَنحٍ مُتعدِّدة المراحل لِفضاء عناوينَ للإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت

يَنتِج عن كُلِّ مَرحَلةٍ مِن مراحل المَنح أَفضية عناوينَ جُزئِيَّةٍ أَصغرُ حجماً مِن الفضاء الأَصيل، وتَكُون مُحدَّدةً ببادِئات أَطولَ مِن بادِئته. أَي يَنخفِض حجم الأَفضية الجُزئِيَّة مع الابتعاد عن رَأس هرم التحصيص، ولكن يَترافَق ذلك مع زيادةٍ طرديَّةٍ في طُول البادِئات.

يُمكِن لِلسِّجلَّات الإقليميَّة ولِلسِّجلَّات المَحلِّيَّة ولِمُزوِّدات خِدمة الإنترنِت أَن تُجزِّئ الفضاء المَمنُوح لها وَفقاً لِحاجتها عن طريق اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول البادِئة. ويُبيِّن الجدول (8-1) حالات طُول قِسم البادِئة كُلِّها والأَقنعة المُكافِئة لِكلٍّ مِنها

---

439 انظر الفرق بين التَّحصيص والتَّخصيص في حواشي الفصل السَّابِع من هذا الكِتاب.

440 انظر ص. 6 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

وعَدَد الأَفضية المُكافِئة في الأَصناف القِياسيَّة المُستعمَلة في العنونة الصَّنفيِّة وعَدَد العناوين الإجماليِّ في كُلِّ فضاءٍ فَرعيٍّ ناتِجٍ عن العنونة باستعمال تلك البادِئة.

الجدول (8-1): البادِئات في العنونة غير الصَّنفيَّة، ومُكافِئاتها وَفقاً لِلعنونة الصَّنفيَّة[441]

قِناع الشَّبكة		عَدَد البتات		عَدَد الأفضية القياسيَّة المُكافِئة			عَدَد العناوين في كُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ[442]
تمثيل البادِئة	التَّدوين العَشريُّ المُنقَّط	b_{pfx}	b_{HID}	الصَّنف A	الصَّنف B	الصَّنف C	
/1	128.0.0.0	1	31	128	2^{15}	2^{23}	2^{31}
/2	192.0.0.0	2	30	64	2^{14}	2^{22}	2^{30}
/3	224.0.0.0	3	29	32	8192	2^{21}	2^{29}
/4	240.0.0.0	4	28	16	4096	2^{20}	2^{28}
/5	248.0.0.0	5	27	8	2048	2^{19}	2^{27}
/6	252.0.0.0	6	26	4	1024	2^{18}	2^{26}
/7	254.0.0.0	7	25	2	512	2^{17}	2^{25}
/8	255.0.0.0	8	24	1	256	2^{16}	2^{24}
/9	255.128.0.0	9	23	1/2	128	2^{15}	2^{23}
/10	255.192.0.0	10	22	1/4	64	2^{14}	2^{22}
/11	255.224.0.0	11	21	1/8	32	8192	2^{21}
/12	255.240.0.0	12	20	1/16	16	4096	2^{20}
/13	255.248.0.0	13	19	1/32	8	2048	2^{19}
/14	255.252.0.0	14	18	1/64	4	1024	2^{18}
/15	255.254.0.0	15	17	1/128	2	512	2^{17}
/16	255.255.0.0	16	16	1/256	1	256	2^{16}
/17	255.255.128.0	17	15	1/512	1/2	128	2^{15}
/18	255.255.192.0	18	14	1/1024	1/4	64	2^{14}
/19	255.255.224.0	19	13	2^{-11}	1/8	32	8192
/20	255.255.240.0	20	12	2^{-12}	1/16	16	4096
/21	255.255.248.0	21	11	2^{-13}	1/32	8	2048
/22	255.255.252.0	22	10	2^{-14}	1/64	4	1024
/23	255.255.254.0	23	9	2^{-15}	1/128	2	512
/24	255.255.255.0	24	8	2^{-16}	1/256	1	256
/25	255.255.255.128	25	7	2^{-17}	1/512	1/2	128
/26	255.255.255.192	26	6	2^{-18}	1/1024	1/4	64
/27	255.255.255.224	27	5	2^{-19}	2^{-11}	1/8	32
/28	255.255.255.240	28	4	2^{-20}	2^{-12}	1/16	16
/29	255.255.255.248	29	3	2^{-21}	2^{-13}	1/32	8
/30	255.255.255.252	30	2	2^{-22}	2^{-14}	1/64	4
/31	255.255.255.254	31	1	2^{-23}	2^{-15}	1/128	2
/32	55.255.255.255	32	0	2^{-24}	2^{-16}	1/256	1

[441] انظر ص. 2 في [RFC1878] في ثَبت المَراجِع.

[442] يَشمُل هذا البَند عناوينَ الفضاء كُلَّها بما فيها عُنوان الفضاء وعُنوان البثِّ العامِّ، وهذان العُنوانان لا يَصلُحان لِعنونة المُضيفِين، كما تَقدَّم في الفصل الرَّابِع مِن هذا الكِتاب.

التَّوجيه بين النِّطاقات

تجميع المَسارات

ترتبط عمليَّة العنونة بنِظام التَّوجيه في الإنترنِت ارتباطاً وثيقاً، لِأَنَّ تحصيص أَفضية العناوين يَحصُل على أَساسٍ مُتوافِقٍ مع طُوبُولُوجيا الإنترنِت، فيَكُون بالإمكان اختزال جداول التَّوجيه بفعَّاليَّة بعد إنجاز العنونة، وتُساعِد عمليَّة الاختزال في الحدِّ مِن أَحجام جداول التَّوجيه مِن غير أَن يُؤَثِّر ذلك في قُدرات الإنترنِت على التَّوسع عالميَّاً.[443]

أمَّا تجميع المَسارات، والَّذي يُسمَّى أَيضاً اختصار المَسارات أَو اختزالها،[444] فهُو طريقةٌ رياضيَّةٌ لِتمثيل مَجمُوعةٍ مِن المَسارات باستعمال مَسارٍ واحِدٍ، تُوصَف المَسارات بالمُجمَّعة والمَسار بالمُختصَر[445]. قد يَبلُغ عَدَد المَسارات المُجمَّعة اثنين أَو بضع عَشراتٍ ويُمكِن أَن يَصِل إلى المِئات أَو الآلاف، وَفقاً لبِنية عناوين الأَفضية ولِطُوبُولُوجيا الشَّبكة.

يُحدِّد مُزوِّدو الخِدمة طُوبُولُوجيا الشَّبكة الَّتي يُراد عنونتها، ثُمَّ تُخصَّص عناوين الأَفضية إلى العملاء بناءً على ذلك وَفقاً لِآليَّة العنونة غير الصَّنفيَّة، ويُمكِن بعدها حِساب المَسار المُختصَر، وَفقاً لِلخطوات التَّالِية:

1. تُحديد الوِجهات الَّتي يُراد تجميع المَسارات نحوها في جدول التَّوجيه.
2. كتابة عناوين الوِجهات بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ، ثُمَّ تُحديد عَدَد البتات المُتطابِقة المُتتالية بدءَاً مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّة في عناوين الوِجهات الَّتي يُراد تجميع مساراتها.
3. تشكيل قِسم البادِئة لِلمَسار المُختصَر مِن البتات المُتطابِقة، ويَكُون طُولها هُو عَدَد البتات.
4. إكمال عُنوان المَسار المُختصَر بإِضافة بتاتٍ صِفريَّة القِيمة إلى يمين البتات المُتطابِقة حتَّى يَبلُغ مُجمَل عَدَد البتات 32 بتاً.

مثلاً، لِتَكُن الشَّبكة المُبيَّنة بالشَّكل (8-4)، وفيها يَتَّصل كُلٌّ مِن المُوجِّه R_2 والمُوجِّه R_3 مع أَربع شبكاتٍ مُعنوَنةٍ بأَفضيةٍ جُزئيَّةٍ وَفقاً لِلجدول (8-2).[446] يُبيِّن الشَّكل السَّابِق أَيضاً جُزءاً مِن جدول توجيه المُوجِّه R_1، وفيه ثمانية بُنُودٍ تُحدِّد المَنفَذ الَّذي يُرسِل المُوجِّه رِزم البيانات عبره لو تَطابَقت وِجهتها مع العنوان المُرتبِط بالبند.

الجدول (8-2): عنونة الشَّبكات المُتَّصِلة مع منافِذ المُوجِّه R_2 والموجه R_3 في الشكل (8-4)

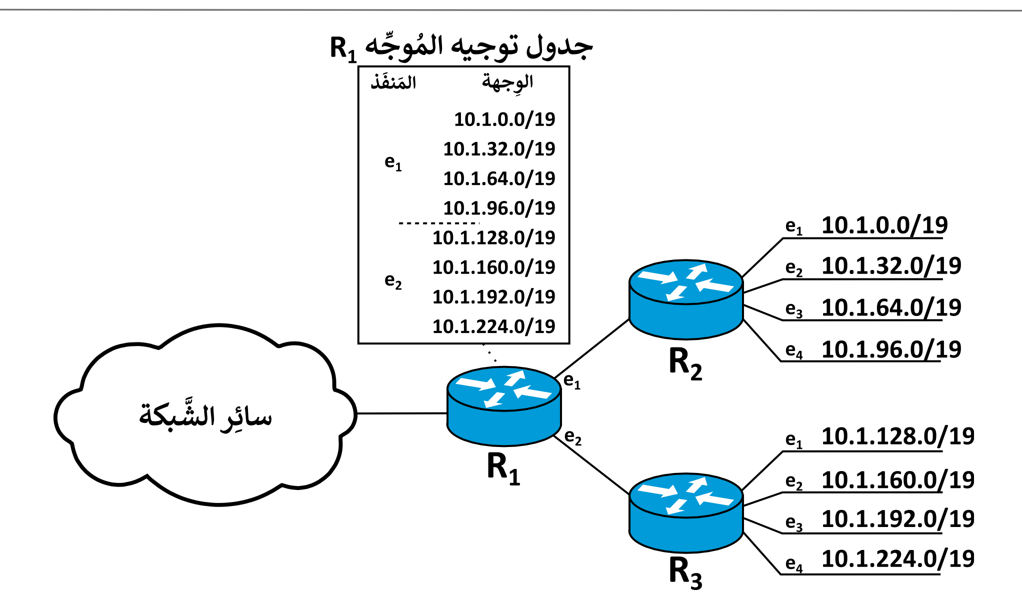
المُوجِّه R_2		المُوجِّه R_3	
المَنفَذ	الفضاء الجُزئِيُّ	المَنفَذ	الفضاء الجُزئِيُّ
e_1	10.1.0.0/19	e_1	10.1.128.0/19
e_2	10.1.32.0/19	e_2	10.1.160.0/19
e_3	10.1.64.0/19	e_3	10.1.192.0/19
e_4	10.1.96.0/19	e_4	10.1.224.0/19

[443] انظر ص. 8 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

[444] أَصل الاسمين: التَّجميع Route aggregation والاختزال Route summarization.

[445] أَصل الاسمين: المُجمَّعة Aggregated routes والمُختصَر Aggregate route.

[446] مِن أَجل حسابات التَّجزِئة، انظر المِثال العاشِر في المُلحَق د.



الشَّكل (8-4): طُوبولُوجيا الشَّبكة المُستعمَلة في مِثال عمليَّة تجميع المَسارات

تُجمَّع المَسارات في المُوجِّه R_2 وَفقاً لِلخوارزميَّة المُبيَّنة أعلاه، ويُبيِّن الجدول (8-3) تطبيق خِطوات التَّجميع:

الجدول (8-3): تنفيذ خوارزميَّة تجميع المَسارات على عناوينَ مَأخُوذةٍ مِن جدول توجيه المُوجِّه R_2

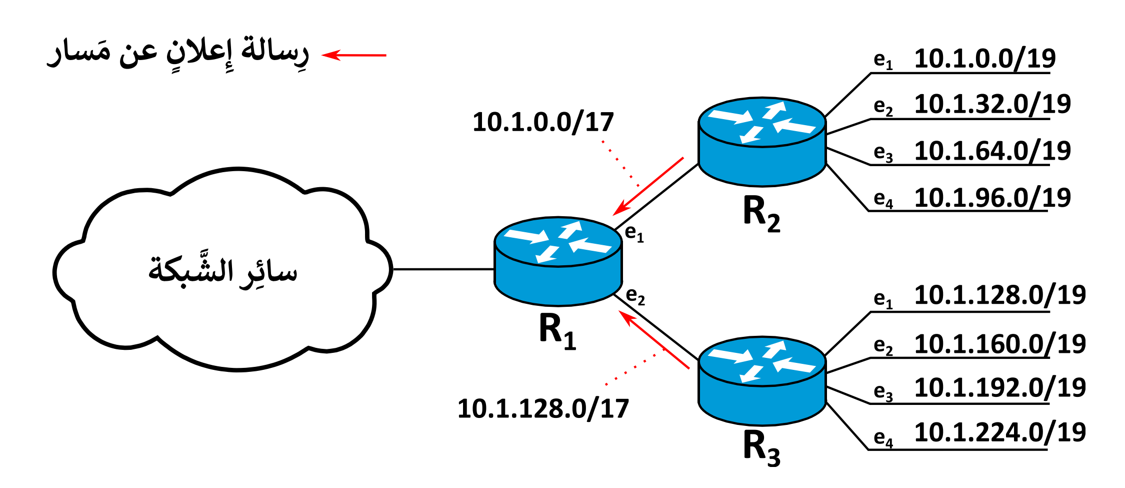
رقم الخَطوة	الوصف	التَّنفيذ
1	تحديد الوِجهات الَّتي يُراد تجميع المَسارات نحوها.	10.1.0.0/19 و10.1.32.0/19 و10.1.64.0/19 و10.1.96.0/19
2	كِتابة العناوين بنِظام العدِّ الثُّنائيِّ، حُدِّدت البتات المُتطابِقة في عناوين المَسارات بالخطِّ الغليظ	**00001010.00000001.0**0000000.00000000 **00001010.00000001.0**0100000.00000000 **00001010.00000001.0**1000000.00000000 **00001010.00000001.0**1100000.00000000
3	البتات المُشترَكة تُمثِّل البادِئة.	قِسم البادِئة: 00001010.00000001.0 الطُّول: 17 بت.
4	إكمال عَدَد البتات إلى 32 بتاً عن طريق إضافة أصفارٍ إلى يمين البادِئة.	00001010.00000001.00000000.00000000
	المَسار المُختصَر بعد كتابة العُنوان بالتَّمثيل العَشريِّ المُنقَّط.	10.1.0.0/17

تُجمَّع المَسارات في المُوجِّه R_3 وَفقاً لِلخوارزميَّة السَّابقة، ويُبيِّن الجدول (8-4) تطبيق خَطواتها:

الجدول (8-4): تنفيذ خوارزميَّة تجميع المَسارات على عناوينَ مَأخُوذةٍ مِن جدول توجيه المُوجِّه R_3

رقم الخَطوة	الوصف	التَّنفيذ
1	تحديد الوِجهات الَّتي يُراد تجميع المَسارات نحوها.	10.1.128.0/19 و10.1.160.0/19 و10.1.192.0/19 و10.1.224.0/19
2	كِتابة العناوين بنِظام العدِّ الثُّنائيِّ، حُدِّدت البتات المُتطابِقة في عناوين المَسارات بالخطِّ الغليظ.	**00001010.00000001.1**0000000.00000000 **00001010.00000001.1**0100000.00000000 **00001010.00000001.1**1000000.00000000 **00001010.00000001.1**1100000.00000000
3	البتات المُشترَكة تُمثِّل البادِئة.	قسم البادِئة: 00001010.00000001.1 الطول: 17 بت.
4	إكمال عَدَد البتات إلى 32 بتاً عن طريق إضافة أَصفارٍ إلى يمين البادِئة.	00001010.00000001.10000000.00000000
	المَسار المُختصَر بعد كتابة العُنوان بالتَّمثيل العَشريِّ المُنقَّط.	10.1.128.0/17

بدلاً مِن أن يُعلِن كُلُّ مُوجِّهٍ[447] عن مَسارٍ نحو كُلٍّ مِن الشَّبكات الأَربعة المُتَّصِلة معه، فإنَّه يُعلِن عن مَسارٍ وحيدٍ هُو المَسار المُختصَر، ويُبيِّن الشَّكل (8-5) مَسار رِسالتي الإعلان اللَّتين يُرسِلهما المُوجِّهان R_2 وR_3 نحو المُوجِّه R_1.



الشَّكل (8-5): إعلان المُوجِّهين R_2 وR_3 عن المَسارين المُختصَرين في مِثال تجميع المَسارات

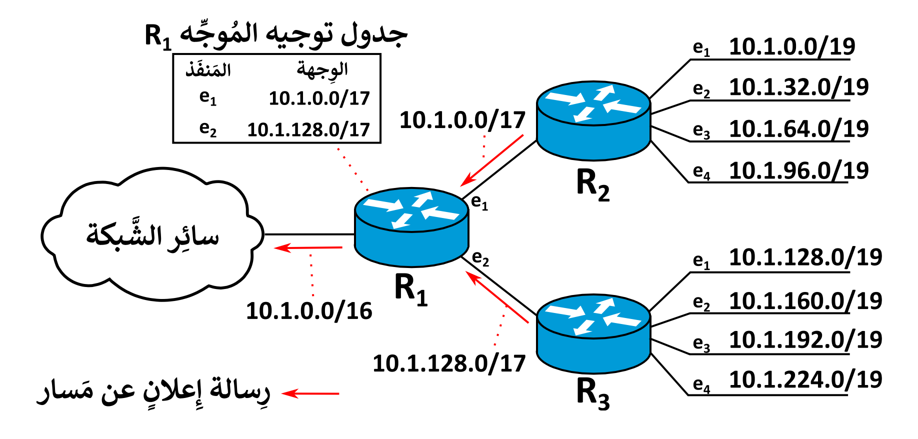
[447] الإعلان عن المَسار Route advertisement، وتَشمُل العمليَّة استعمال أحد بروتُوكُولات التَّوجيه الَّذي يُحدِّد بنية رِسالة الإعلان ومُحتوَياتها وتواتر إرسالها وكيفيَّة مُعالجتها وكيفيَّة حِساب المَسارات نحو كُلِّ الوِجهات المَعرُوفة، وهذه كُلُّها خارِج نِطاق المادة الَّتي يُناقِشها هذا الكِتاب.

يُمكِن تجميع المَسارات أكثرَ مِن مرَّةٍ على مُستوَياتٍ مُتعدِّدةٍ في الإنترنِت، وعندها تُجمَّع المَسارات المُختصَرة الَّتي جُمِّعت في المُستوَى الأوَّل، لِتُنتِج، في مُستوَىً ثانٍ، مَساراً مُختصَراً جديداً تَكون بادِئته أقصرَ مِن بادِئات المَسارات المُختصَرة في المُستوَى الأول. وَفقاً لِهذا، تُجمَّع المسارات المُختصَرة الَّتي استقبلها المُوجِّه R_1 في المِثال السَّابِق حسب الخوارزميَّة المَذكُورة أَعلاه، ويُبيِّن الجدول (8-5) تطبيق هذه المراحل.

الجدول (8-5): تنفيذ خوارزميَّة تجميع المَسارات على عناوينَ مَأخُوذةٍ مِن جدول توجيه المُوجِّه R_1

رقم الخَطوة	الوصف	التَّنفيذ
1	تحديد الوِجهات الَّتي يُراد تجميع المَسارات نحوها.	10.1.0.0/17 و10.1.128.0/17
2	كِتابة العناوين بِنظام العدِّ الثُّنائيِّ، حُدِّدت البِتات المُتطابِقة في عناوين المَسارات بالخطِّ الغليظ.	**00001010.00000001.**00000000.00000000 **00001010.00000001.**10100000.00000000
3	البِتات المُشترَكة تُمثِّل البادِئة.	قسم البادِئة: 00001010.00000001 الطول: 16 بت.
4	إكمال عَدَد البِتات إلى 32 بِتاً عن طريق إضافة أصفارٍ إلى يمين البادِئة.	00001010.00000001.00000000.00000000
	المَسار المُختصَر بعد كِتابة العُنوان بالتَّمثيل العَشريِّ المُنقَّط.	10.1.0.0/16

ثُمَّ يُعلِن المُوجِّه R_1 عن مسارٍ واحِدٍ فقط إلى سائِر الشَّبكة هُو المَسار المُختصَر 10.1.0.0/16 عِوَضاً عن الإعلان عن ثمانية مَساراتٍ نحو الشَّبكات المُتَّصِلة مع المُوجِّهين R_2 وR_3، ويُمكِن مُلاحظة ذلك في الشَّكل (8-6) بالإضافة إلى انخفاض عَدَد البُنُود في جداول توجيه المُوجِّه R1 مُقارنةً بالشَّكل (8-4).



الشَّكل (8-6): الحالة النِّهائية لِلشَّبكة في مِثال تجميع المَسارات

قواعدُ إضافيَّةٌ لِلتَّوجيه

التَّوجيه هُو إرشاد رِزم البيانات إلى المَسار الَّذي ستَسلُكه انطلاقاً مِن مَصدرها حتَّى وِجهتها.[448] تَستضيف كُلُّ عُقدةٍ مُتَّصِلةٍ مع الإنترنِت عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت مُميَّزٍ وفريدٍ، ويُستعمَل هذا العُنوان مُعرِّفاً لِلمُضيف. تُوجَّه رزم البيانات وَفقاً لِعُنوان وِجهتها، الَّذي يُضيفه مُرسِل الرِّزم في الحَقل المُخصَّص له في ترويسة الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. ولمَّا استُبدلت العنونة غير الصَّنفيِّة بالعنونة الصَّنفيِّة، كان لِزاماً على القائِمين على الإنترنِت إجراء تعديلاتٍ في قواعد التَّوجيه.

يُمكِن تمييز قِناع الفضاء وطُوله آليّاً في العنونة الصَّنفيِّة مِن خلال مُلاحظة قِيم البتات المَحجُوزة في الخانة الأُولَى مِن عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. أمَّا في العنونة غير الصَّنفيِّة، فلا أَصنافَ قياسِيَّةً، ولا يُمكِن معرفة قِناع الفضاء ما لم يُذكَر صراحةً، ولهذا تأثيرٌ على كيفيَّة الإعلان عن مَعلُومات التَّوجيه وتخزينها. في ما يَخصُّ التَّخزين، يَلزَم أن تَدعَم جداول التَّوجيه حُقُولاً خاصَّةً لِتخزين قِيمة البادِئة أو قِناع الفضاء. أمَّا في ما يَخصُّ مَعلُومات التَّوجيه، فيَلزَم على برُوتُوكُولات التَّوجيه أن تُعلِن عن أقنعة الأَفضية ضِمن إعلانات المَسارات.[449]

بالإضافة لما سَبق، يَلزم أن تُضاف القاعِدتان التَّالِيتان إلى قواعد التَّوجيه في المُوجِّهات:[450]

1. في أَثناء بحث مُوجِّهٍ عن بَندٍ في جدول توجيهه لِأَجل توجيه رِزمة بياناتٍ ما، إذا صَادف بَندين مُتطابِقين في بِنيتهما، ويَصلُح كُلٌّ مِنهما لِأَن يَكُون الخَطوة التَّالِية على مَسار تلك الرِّزمة، فإنَّ الرِّزمة ستُوجَّه وَفقاً لِلبَند الأَكثر تحديداً، أَي البَند ذي البادِئة الطُّولَى. فلو كان عُنوان وِجهة الرِّزمة مثلاً هُو 200.10.0.100، ووُجِد بَندان في جدول التَّوجيه يُطابِقان رقميّاً عُنوان الوِجهة، مثل: 200.10.0.0/16 و200.10.0.0/18، فإنَّ المُوجِّه سيَختار البَند ذي البادِئة الطُّولَى ، أَي 18/ في هذه الحالة، ثُمَّ يَتخِذ قرار توجيهٍ لِإرسال الرِّزمة عبر المَنفَذ المُرتبِط مع ذلك البَند.
2. إذا كانت وِجهة الرِّزمة النِّهائِيَّة هي مَسارٌ مُختصَرٌ جُمِّع في المُوجِّه الَّذي يُعالِج الرِّزمة، فيَلزَم على المُوجِّه التَّخلُّص مِن الرِّزمة. أَي لا تُوجَّه الرِّزم الَّتي تكُون وِجهتها النِّهائِية مَساراتٍ مُختصَرةً، لِأَنَّ وِجهات المَسارات المُختصَرة ليست شَبكاتٍ مَوجُودةً فعليّاً، وإنَّما هي تعابيرُ رياضيَّةٌ عن عناوين مَجمُوعةٍ مِن الأَفضية، جُمِّعت معاً لِخَفض أَحجام جداول التَّوجيه.

---

[448] انظر ص. 333 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[449] كانت إعلانات برُوتُوكُولات التَّوجيه لا تَحوِي أقنعة الأَفضية في الأَصل، لِأَنَّ العنونة الصِّنفيَّة تَسمَح باستنتاج قِيمة القناع آليّاً فور تحديد الصِّنف، ويُمكِن تحديد الصِّنف اعتماداً على تَتابُع البتات المَحجُوزة في الخانة الأُولى في عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. لِذلك وُصِفت برُوتُوكُولات التَّوجيه الأُولَى بأَنَّها صِنفيَّةٌ Classful routing protocol، ومِن الأَمثلة عنها الإصدار الأَوَّل مِن برُوتُوكُول مَعلُومات التَّوجيه، المَعرُوف اختصاراً بالاسم الرَّمزيِّ RIPv1 (انظر [RFC1923] في ثَبت المَراجِع). أمَّا برُوتُوكُولات التَّوجيه الَّتي طُوِّرت بعد اعتماد العنونة غير الصِّنفيَّة، فتُضمِّن أَقنعة الأَفضية في إعلاناتها، ولِذلك تُوصَف بأَنَّها غير صِنفيَّةٍ Classless routing protocol، ومِنها على سبيل المِثال برُوتُوكُول التَّوجيه الدَّاخِلي المُحسَّن بين البوَّابات، المَعرُوف اختصاراً بالاسم الرَّمزيِّ EIGRP (انظر ص. 1 في [RFC1817]).

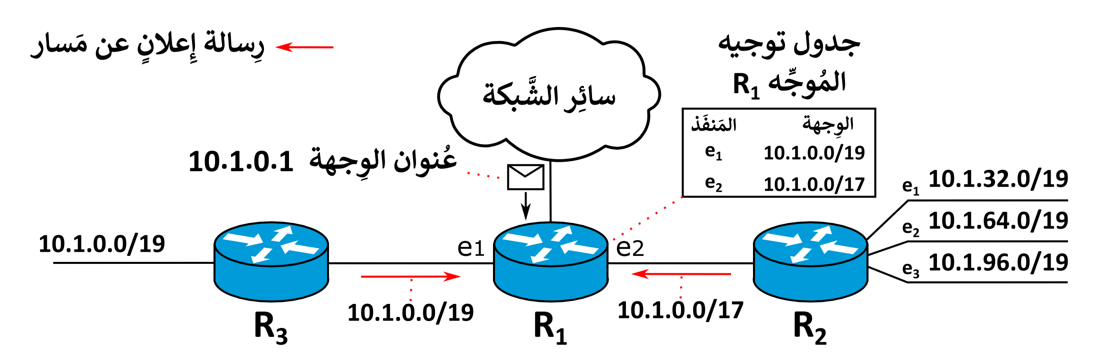
[450] انظر ص. 11 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

مُشكِلات التَّجميع

وَاجهت عمليَّة تجميع المَسارات مُشكِلتين رئيستين:[451]

- المُنظَّمات مُتعدِّدة المواقع:[452] وهي المُنظَّمات الَّتي خُصِص لها فضاءٌ مُحدَّدٌ مِن الإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهي تَستخدِم أجزاءً منه في عنونة مَوقِعين أو أكثر مُتَّصِلين مع مُزوِّدين اثنين لِخدمة الإنترنِت على الأقلِّ. في هذا الحالة، سيُعلِن كُلُّ مُزوِّد خِدمةٍ عن مَساراتٍ نحو الأَفضية الجُزئيَّة المُستخدَمة في عنونة الشَّبكات المُتَّصِلة مَعه مباشَرةً، ولا يَكون بالإمكان تجميع المَسارات، بل يَحتفِظ كُلُّ مُوجِّهٍ في جدول توجيهه ببَندٍ مُستقِلٍّ نحو كُلِّ فضاءٍ جُزئِيٍّ، وسبب هذه المُشكِلة أنَّ طُوبُولُوجيا الشَّبكة لا تَتوافَق مع العنونة، أي أنَّ أَفضيةً جُزئيَّةً ناتِجةً عن تجزِئة فضاءٍ ما تُستخدَم في عنونة شَبكتين مُتباعِدتين مكانيّاً.[453]
- المُنظَّمات الَّتي غيَّرت مُزوِّد الخِدمة، ولكنَّها وَاصَلت استعمال الفضاء المُخصَّص لها مِن المُزوِّد القديم: ويَنتج عن هذه الحالة إعلان المُزوِّدان القديم والجديد معاً عن مَسارٍ نحو مَوقِعٍ مُعنونٍ بفضاء مُحدَّدٍ رِياضيّاً بالعُنوان نفسه، ولكن ببادِئتين مُختلِفتي الطُّول، مِثل 10.1.0.0/19 و10.1.0.0/17، ويعني هذا أن البادِئة الثَّانية ستَكُون مُفضَّلةً عند توجيه الرِّزم وَفقاً لِقاعِدة تفضيل البادِئة الطُّولَى. أي أنَّ المُوجِّهات ستَختار توجيه أيِّ رِزمةٍ يَقع عُنوان وِجهتها ضِمن الفضاءَين السَّابِقين إلى المَسار المُرتَبط بالبادِئة الطُّولَى دائِماً، أي 19/ في هذه الحالة، ولن تَصِل رِزم البيانات إلى المَوقِع الآخر أبداً. لِحَلِّ هذه المُشكِلة، يُنصَح دائِماً بأن تَطلُب أيُّ مُنظَّمةٍ تُغيِّر مُزوِّد خِدمتها فضاءً جزئيّاً جديداً مِن مُزوِّد الخِدمة الجديد، وأن تَتوقَّف عن استعمال الفضاء القديم.

يُبيِّن الشَّكل (8-7) مِثالاً عن المُشكِلة الثَّانية، وفيه ثلاثة مُوجِّهات هي: R_2، ويُشغِّله المُزوِّد الأول، وR_3، ويُشغِّله مُزوِّد خِدمةٍ آخرَ، وR_1 الَّذي يَصِل بين المُوجِّهين السَّابِقين وسائِر الشَّبكة. كان المُوجِّه R_2 يَرتبِط في الأَصل مع أَربع شبكاتٍ عُنونت وَفقاً لِلجدول (8-2)، واُختزلت بُنُود جدول توجيهه وَفقاً لِلجدول (8-3).



الشَّكل (8-7): مِثالٌ عن مُشكِلةٍ في عمليَّة التَّجميع، مُنظَّمةٌ غيَّرت مُزوِّد الخِدمة، ولكنَّها استمرَّت في استعمال الفضاء المُخصَّص لها مِن المُزوِّد القديم

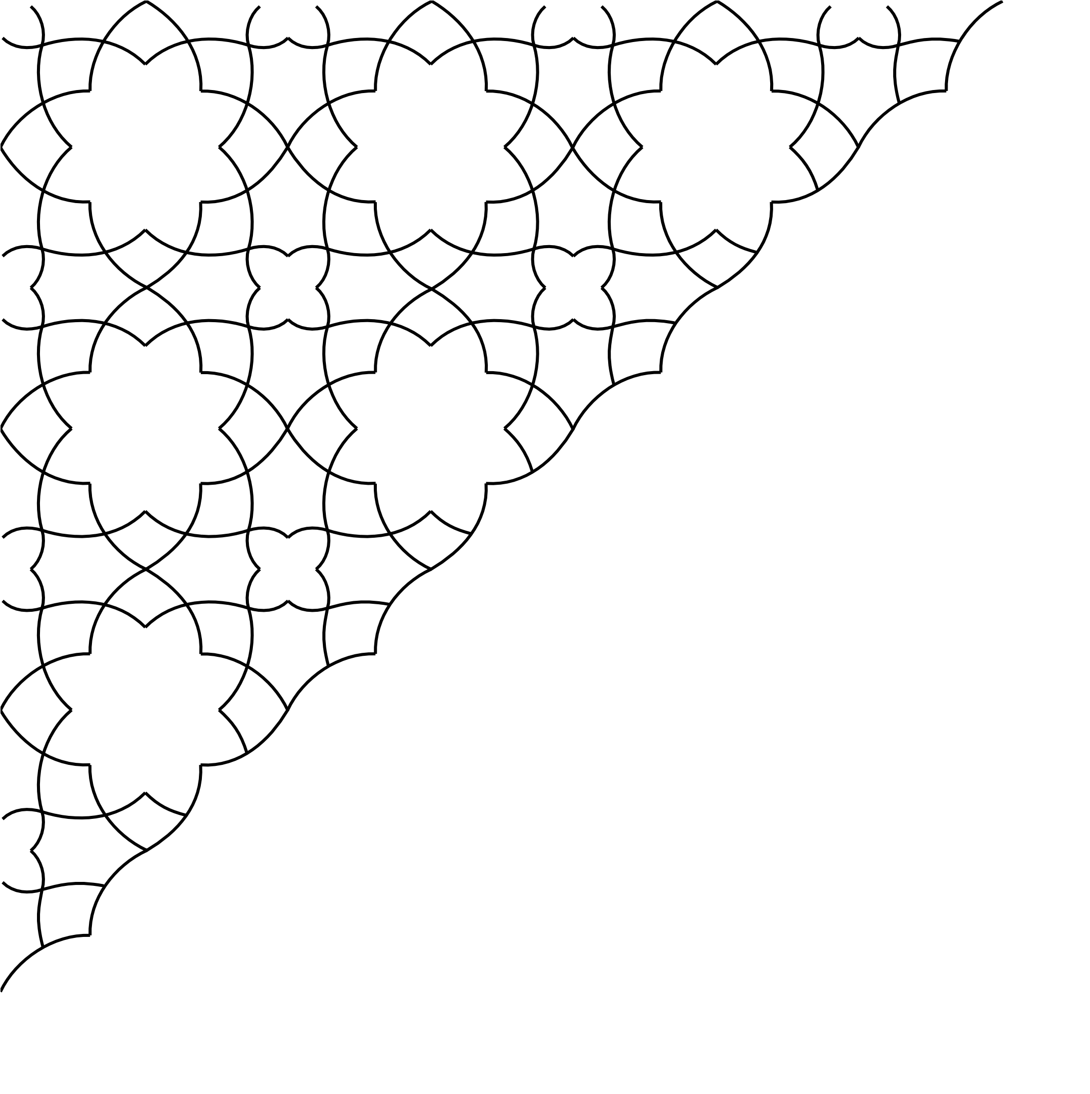
[451] انظر ص. 8-9 في [RFC4632] في ثَبت المَراجِع.

[452] أصل الاسم Multi-homed organization.

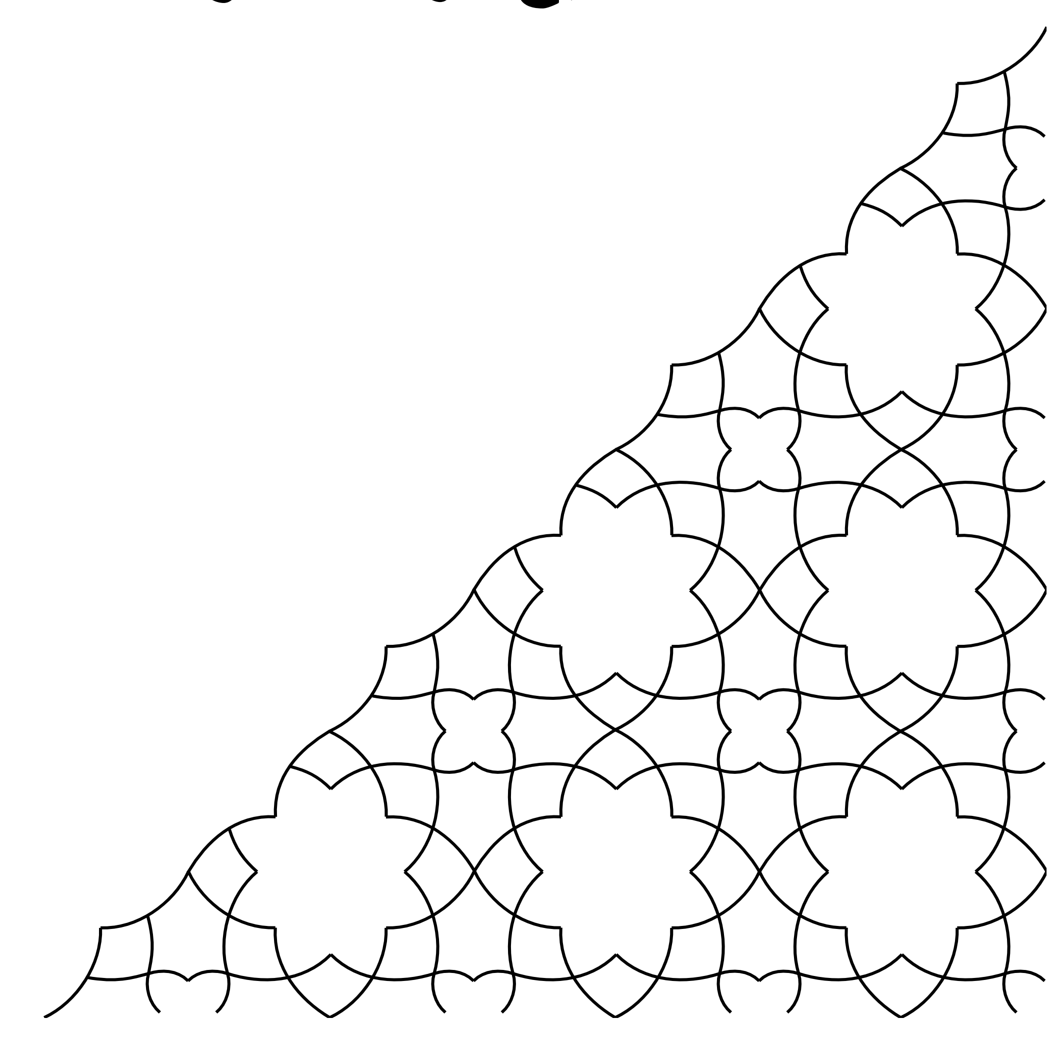
[453] لِلمزيد حول هذا الشَّأن، انظر [RFC4116] في ثَبت المَراجِع.

غَيَّرت المُؤَسَّسة الَّتي تُشغِّل الشَّبكة المُعنوَنة بالفضاء 10.1.0.0/19 مُزوِّد الخِدمة، وانتقلت، مِن غير أَن تُغيِّر فضاءَها، إِلى المُزوِّد الآخر. في ما يَخصُّ المُوجِّه الأَوَّل، فإِنَّ المَسار المُختصَر، أَي 10.1.0.0/17، لا يَزال صالِحاً رياضيَّاً، ولِذلك فإِنَّه يَستمرُّ بالإِعلان عنه نحو المُوجِّه R_1. ثُمَّ يُعلِن المُوجِّه R_3 عن الشَّبكة الجديدة المُتَّصِلة معه، وهي المُعنوَنة بالفضاء 10.1.0.0/17.

تَحصُل المُشكلة في المُوجِّه R_1، ففي جدول توجيهه بَندان، يَتطَّابق عُنوانهما بِنيةً وهُي 10.1.0.0، ويَختلِفان قِناعاً: 17/ و19/. لو طُبِّقت قاعِدة التَّطابُق مع البَند الأَطول، فإِنَّ أَيَّ رِزمةٍ ستَرِد مِن سائِر الشَّبكة نحو المُوجِّه R_1 مع عُنوان وِجهةٍ يَقع ضِمن الفضاءَين السَّابِقين، ستُرسَل دائِماً عبر المَنفَذ e_1 نحو المُوجِّه R_3 مُسبِّبةً مُشكِلةً في التَّوجيه.



الفصل التَّاسِع: ترجمة عُنوان الشَّبكة



مُقدِّمةٌ

ترجمة عُنوان الشَّبكة[454] هُو مُصطلَحٌ عامٌّ يُستعمَل لِوصف عَدَدٍ مِن الآليَّات الَّتي تُستخدَم لِتغيير قِيم مُعرِّفاتٍ شَبكيَّةٍ، نحو عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت أَو أَرقام المنافذ، في رِزم البيانات اللَّاتي تَنتقِل بين فضاءَي مُعرِّفاتٍ مُتمايزين يُسمَّيان النِّطاق الدَّاخِليّ والنِّطاق الخارجيّ. طُوِّرت هذه الآليَّة في عام 1994م بصفتها جُزءاً مِن الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد لِمُعالَجة مُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت.

ترجمة عُنوان الشَّبكة ليست برُوتُوكُولاً، لكنَّها آليَّة عملٍ ذات مراحلَ، يُنفِّذها مُوجِّهٌ يَربُط بين فضاءَين مِن المُعرِّفات، غالباً ما تَكُون عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. تَسبُق عمليَّةُ تهيئة المُوجِّه ترجمةَ العناوين، وقد يُزوَّد المُوجِّه يدويّاً بثُنائيَّاتٍ مِن المُعرِّفات، تَضمُّ زوجاً مِن النِّطاق الدَّاخِليّ وزوجاً مِن النِّطاق الخارجيّ، أَو قد يُزوَّد بنهجٍ وشُرُوطٍ مُحدَّدة لِتشكيل الثُّنائيَّات آليّاً، ويَلزَم في كِلتا الحالتين تحديد الاتِّجاه الَّذي يُسمَح فيه بإنشاء جلسة التَّرجمة.

يُراقِب المُوجِّه بعد ذلك حركة البيانات بين النِّطاقين، ويُنشِئ جلسة ترجمةٍ مَتَى ما تَطابَقت مُعرِّفات رِزمة بياناتٍ مع ما هُيِّئ به مُسبَقاً، وتَستمِرُّ عمليَّة التَّرجمة بعد ذلك على رِزم الجلسة المُتدفِّقة عبر المُوجِّه بالاتِّجاهين، ثُمَّ تَتوقَّف عند إغلاق الجلسة.

تُصَنف هذه الآليَّة إلى أَنواعٍ وَفقاً لِطريقة تشكيل ثُنائِيَّات المُعرِّفات ولِلاتِّجاه الَّذي يُسمَح فيه بإنشاء الجلسة، وأَوَّل هذه الأَنواع هُو التَّرجمة الأَساسيَّة، وهي طريقةٌ يُمكِن فيها إعداد ثُنائِيَّاتٍ ثابِتة البِنية تَضمُّ زوجين مِن عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت مِن النِّطاق الدَّاخِليّ والنِّطاق الخارجيّ، وثانِيها هُو التَّرجمة المُتغيِّرة، وفيها يُحدَّد فضاءٌ لِلعناوين لِكُلِّ نِطاقٍ، وتُشكَّل ثُنائِيَّاتٌ مِن الفضاءَين آليّاً، وثالِثُها هُو ترجمة العناوين وأَرقام المنافذ، وفيها تَشمُل الثُّنائيَّات أَيضاً أَرقام منافذَ بين النِّطاقين، وتَنضوِي الأَنواع الثَّلاث تحت تصنيفٍ واحِدٍ هُو التَّرجمة التَّقليديَّة، وفيها يُمكِن إنشاء الجلسة باتِّجاهٍ واحِدٍ فقط، وغالِباً ما يَكُون مِن النِّطاق الدَّاخِليُّ إلى الخارجي. ومن الأَنواع أيضاً التَّرجمة ثُنائِيَّة الاتِّجاه، وهي تَستعمِل إحدى تقنيَّات التَّرجمة التَّقليديَّة، ولكنَّها تَسمَح بإنشاء الجلسات بكلا الاتِّجاهين. ومِنها أَيضاً التَّرجمة المُضاعَفة، وفيها تُترجَم مُعرِّفات مَصدَر الرِّزمة ومُعرِّفات وِجهتها معاً.

نَتجَت مُشكِلاتٌ عديدةٌ بعد تطبيق هذه الآليَّة، مِنها ما هُو فلسفيٌّ في طبيعته ومِنها ما هُو تِقنيٌّ. أَمَّا الفلسفيُّ، ففيه تُخِلُّ هذه التِّقنيَّة بمَبدَأ الطَّرفين، وهو أَحد المبادِئ الرَّئِيسة الَّتي قامَت الإنترنِت على أَساسها. وأَمَّا التِّقنيُّ، فمِثاله اضطراب عمل تطبيقاتٍ عديدةٍ تَعتمِد على المُعرِّفات المُترجَمة. ويُضاف لِذلك أَيضاً جدلٌ غير مَحسُومٍ حول جدوَى استخدام هذه الآليَّة مع الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

يَبدَأ هذا الفصل باستعراض خلفيةٍ عامَّةٍ حول هذه التِّقنيَّة، تَتضمَّن التَّعريف بأَفضية العناوين الخاصَّة وأَرقام المنافذ، يَليها وصفٌ لِآليَّة العمل يَشمُل مَجمُوعةً مِن التَّعاريف والاصطلاحات ذات الصِّلة وتفصيلاً لِخَطوات الآليَّة، ثُمَّ يَتناوَل

[454] أَصل الاسم: Network Address Translation اختصاراً NAT كما تَقدَّم. والأَدقُّ في رَأينا أَن تُسمَّى هذه التِّقنيَّة تغيير مُعرِّفات الشَّبكة، فكلمة Translation لا تَعنِي التَّرجمة حرفيّاً بمَعنَى النَّقل مِن لغةٍ إلى أُخرى، بل تُفيد مَعنَى تبديل مُعرِّفات النِّطاقات كما سيَأتِي، والآليَّة لا تَقتصِر على العناوين، بل يُمكِن أن تَشمُل مُعرِّفاتٍ أُخرى نحو أَرقام المنافذ، ولكن أَبقينا على العُنوان مُترجماً حرفيّاً لِشهرته شُهرةً كبيرةً بهذه الصِّيغة.

الفصل أنماط التَّرجمة المُختلِفة ويَشرَحها. يَلي ذلك قُسمٌ مُخصَّصٌ لِلمسائِل الَّتي يَلزَم مراعاتها في برُوتُوكُولات طَبقة الشَّبكة وبرُوتُوكُولات طَبقة النَّقل بعد تطبيق الآليَّة، ويُختتَم هذا الفصل بنِقاشٍ حول المُشكِلات الَّتي وَاجَهت تنفيذ ترجمة العُنوان.

خلفيَّةٌ عامَّةٌ

الأَفضية الخاصَّة[455]

هي أَفضيةٌ جُزئيَّةٌ مِن فضاء الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، مَحجُوزةٌ مِن أَجل الاستعمال المَحلِّيِّ فقط، ولا يُعلَن عنها في الإنترنِت. حَجزت هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة، ثلاثة أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ لهذا الغرض هي 10.0.0.0/8 و172.16.0.0/12 و192.168.0.0/16.[456]

يُبيِّن الجدول (9-1) بيانات الأَفضية الخاصَّة، وفيه يُسمَّى الفضاء الأَوَّل المَجال ذا البتات الأَربعة والعشرين، والثَّاني بالمَجال ذي البتات العشرين والثَّالِث بالمَجال ذي البتات السِّتة عشرة،[457] وهذه الأَطوال هي أَطوال مُعرِّ المُضيف في تدوين البادِئة لِلمَجالات الثَّلاث. يُكافِئ المَجال الأَوَّل فضاءً قياسيَّاً مِن الصَّنف A ويُكافِئ الثَّاني 16 فضاءً قِياسيَّاً مِن الصَّنف B، ويُكافِئ الثَّالِث 256 فضاءً قياسيَّاً مِن الصَّنف C.[458]

الجدول (9-1): بيانات الأَفضية الخاصَّة

اسم الفضاء	ذو البتات الأَربعة والعشرين	ذو البتات العشرين	ذو البتات السِّتة عشرة
امتداد الفضاء	10.0.0.0 حتَّى 10.255.255.255	172.16.0.0 حتَّى 172.31.255.255	192.168.0.0 حتَّى 192.168.255.255
قِناع الفضاء	8/ (255.0.0.0)	12/ (255.240.0.0)	16/ (255.255.0.0)
طُول قِسم البادِئة	8	12	16
طُول مُعرِّف المُضيف	24	20	16
عَدَد عناوين الفضاء	16777216	1048576	65536
المُكافِئ في العنونة الصَّنفيَّة	فضاءٌ قياسيٌّ مِن الصَّنف A	16 فضاءً قِياسيَّاً مُتتالٍ مِن الصَّنف B	256 فضاءً قِياسيَّاً مُتتالٍ مِن الصَّنف C

455 أَصل الاسم Private networks، وقد أَشرنا في حاشِية مُقدِّمة الفصل الرَّابِع إلى شيوع الاستعمال المُتبادَل لِكلمتي "فضاءٍ" و"شَبكةٍ" خطأً وإلى ضرورة تصحيحه.

456 انظر ص. 6، 8، 11 في [RFC6890] في ثَبت المَراجِع.

457 أُصول الأَسماء 24 bit block و20 bit block و16 bit block على التَّرتيب.

458 انظر ص. 4 في [RFC1918] في ثَبت المَراجِع.

أَرقام المنافذ[459]

هي مُعرِّفاتٌ رقميَّةٌ تُستخدَم لِتمييز الاتِّصال في حُزمة برُوتُوكُولات الإنترنِت. يَبلُغ طُول كُلٍّ مِنها 16 بتاً، أَي يُمكِن إنشاء $2^{16} = 65536$ رَقم مَنفَذٍ مُتمايزٍ. تَخدُم المنافذ عُموماً غرضين رئِيسين في شبكات البيانات، أَوَّلها توفير آليَّةٍ لِلتَّمييز بين جلسات الاتِّصال المُختلِفة الَّتي قد تَنشَأ بين طرفين، وثانِيها مُساعدة برُوتُوكُول النَّقل في تحديد برُوتُوكُول التَّطبيق الَّذي يَستخدِمه، ولِهذا أَهمِّيَّةٌ خاصَّةٌ في عمليَّتي التَّغليف وفكِّه. بالإضافة لِذلك، يُستعمَل رَقم المَنفَذ جنباً إلى جنبٍ مع عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت لِتوليد مِقبَس الاتِّصال،[460] ويُمكِن تمييز أَيِّ اتِّصالٍ تمييزاً فريداً وَفقاً لِقِيم المِقبَسين على طرفيه.

يُقسَّم مَجال أَرقام المنافذ إلى ثلاثة أَقسامٍ فَرعيَّةٍ هي:[461]

- أَرقام منافذ النِّظام، ومَجالها 0-1023.
- أَرقام منافذ المُستخدِم، ومَجالها 1024-49151.
- أَرقام المنافذ الخاصَّة، ومَجالها 49152-65535.

تُشرِف المَجمُوعة التَّوجيهيَّة لِهندسة الإنترنِت[462] على مَنح أَرقام منافذ النِّظام، في حين تُدير هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة عمليَّة مَنح أَرقام منافذ المُستخدِم، وأَمَّا أَرقام المنافذ الخاصَّة فلا تُمنَح.

وصف الآليَّة

تعاريفُ واصطلاحاتٌ

تُعرِّف وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 2663، المُعنوَنة: "اعتباراتٌ واصطلاحاتٌ لِترجمة عُنوان الشَّبكة"[463] المفاهيم التَّاليَة:

- نِطاق العناوين:[464] هُو قِطاعٌ مِن الشَّبكة تُمنَح عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت فيه لِلمُضيفِين مَنحاً فريداً، أَي لا يُمكِن أَن يُمنَح فيه مُضيفان العُنوان نفسَه.

---

[459] أَصل الاسم Port number.

[460] أَصل الاسم Socket، وهُو آليَّةٌ عامَّةٌ لإنشاء الاتِّصال بين التَّطبيقات الَّتي تَنشُط بين المُضيفين لِغرض تبادل البيانات، ويُوجَد مِقبَس على طرف كُلِّ اتِّصالٍ، انظر ص. 356 في [BKE01] في ثَبت المَراجِع.

[461] انظر [WEB28] في ثَبت المَراجِع.

[462] المَجمُوعة التَّوجيهيَّة لِهندسة الإنترنِت Internet Engineering Steering Group، اختصاراً IESG، وهي مَجمُوعة العمل المَسؤُولة عن التَّحقُّق مِن جُودة وثائِق طَلب التَّعليقات الَّتي تَصدُر عن مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت ودِقَّتها، لِلمزيد حولها انظر ص. 1-3 في [RFC3710] في ثَبت المَراجِع.

[463] أَصل العُنوان IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations، انظر ص. 3 في [RFC2663] في ثَبت المَراجِع.

[464] أَصل الاسم Address realm، وrealm تَعنِي "مملكة" حرفيّاً. وأُستخدِمت في هذا السِّياق لِلإشارة إلى مَعنىً حَقلٍ أَو مَجال فعَّاليَّةٍ أَو مَنطِقة تأثيرٍ (انظر ص. 963 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع)، وقد ارتأَينا تعريبها إلى نِطاق وَفقاً لِهذا المَعنى.

- نِطاق العناوين الخارِجيّ:[465] هُو نِطاق عناوينَ تُديره هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة أَو سِجلَّات إنترنِت أَدنَى في هرميَّة تحصيص العناوين.
- نِطاق العناوين الدَّاخِليّ:[466] هُو نِطاق عناوينَ خاصَّةٍ تَستعمِلها أَكثرُ مِن مُنظَّمةٍ استعمالاً مَحلِّيّاً ومُستقِلّاً في الوقت نفسِه، وتَعنِي كلمة مُستقِلٍّ في هذا السِّياق مِن غير مُراجعة هيئَة تحصيص العناوين أَو سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة.
- التَّوجيه غير المرئِيّ:[467] هُو توجيه رِزم البيانات بين نِطاقي عناوينَ مُختلِفين، أَي داخِليٍّ وخارِجيٍّ. ويَشمُل ذلك تغيير المُوجِّه المُترجِم لِمُحتوَيات ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت أَو لِمُحتوَيات ترويسة برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل أَو لِكليهما معاً. وهُو يَختلِف عن التَّوجيه التَّقليديّ الَّذي يَحصُل ضِمن نِطاق عناوينَ واحِدٍ. يُوصَف هذا التَّوجيه بأَنَّه غير مَرئِيٍّ لِأَنَّه غير مُلاحَظٍ مِن طَرف المُضيفِين، فهُم لا يُدرِكون حُصُوله، ولا يُدرِكون تغيُّر مُحتوَيات التَّرويسة في أَثناء عمليَّة التَّرجمة.
- الجلسة:[468] هي حركة البيانات الَّتي تَخضَع لِعمليَّة التَّرجمة. واتِّجاه الجلسة هُو اتِّجاه هذه الحركة عند البدء، أَي اتِّجاه تدفُّق أَوَّل رِزمة بياناتٍ فيها. يَلزَم دائِماً تحديد مِن أَيِّ نِطاقٍ بَدأَت الجلسة، ونحو أَيِّ نِطاقٍ ستَتجِه. بعد إنشاء الجلسة، فإِنَّ حركة البيانات ستَشمُل تدفُّقاً لِرزم بيانات برُوتُوكُول الإنترنِت بالاتِّجاهين، بغضِّ النَّظر عن اتِّجاه الجلسة.
- المُوجِّه المُترجِم: هُو المُوجِّه الَّذي يُنجِز عمليَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة.

مبدَأ العمل

تُغيِّر ترجمة عُنوان الشَّبكة قِيم حُقُولٍ مُحددَّةٍ في ترويسات رِزم البيانات الَّتي يُعالِجها المُوجِّه المُترجِم، ويُمكِن ترجمة رِزم البيانات الَّتي تَعبُر المُوجِّه بكلا الاتِّجاهين.[469] تَشمُل الحُقُول الَّتي يُبدَّل مُحتواها حَقل عُنوان المَصدَر أَو حَقل عُنوان الوِجهة أَو كليهما في ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت وحَقل رَقم مَنفَذ المَصدَر أَو حَقل رَقم مَنفَذ الوِجهة أَو كليهما في ترويسة برُوتُوكُول النَّقل المُستعمَل، وحُقُول مُعرِّفات بعضٍ من رسائِل الإعلام[470] في ترويسة برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم.[471] يُسبِّب

---

[465] يُسمَّى هذا النِّطاق أَسماءً عديدةً أُخرَى أَيضاً مِنها النِّطاق الخارِجيُّ Outside realm أَو External realm والنِّطاق العامُّ Public realm والنِّطاق العالَميُّ Global realm.

[466] يُسمَّى هذا النِّطاق أَسماء عديدةً أُخرَى أَيضاً مِنها: النِّطاق الدَّاخِليُّ Inside realm والنِّطاق الخاصُّ Private realm والنِّطاق المَحلِّيُّ Local realm.

[467] أَصل الاسم Transparent routing، وtransparent تَعني حرفيّاً الشَّفاف أَي ما يُرَى عبره (ص. 1249 في [BKA02] وص. 205 في [BKA06] في ثَبت المَراجِع)، ولكنَّ الكلمة لا تُفيد هذا المَعنَى تحديداً في هذا السِّياق، بل تُفيد مَعنَى غير المَلحُوظ أَو غير المَرئِيِّ وقد ارتَأَينا الاجتهاد وتعريبها بهذه الصُّورة.

[468] أَصل الاسم Session.

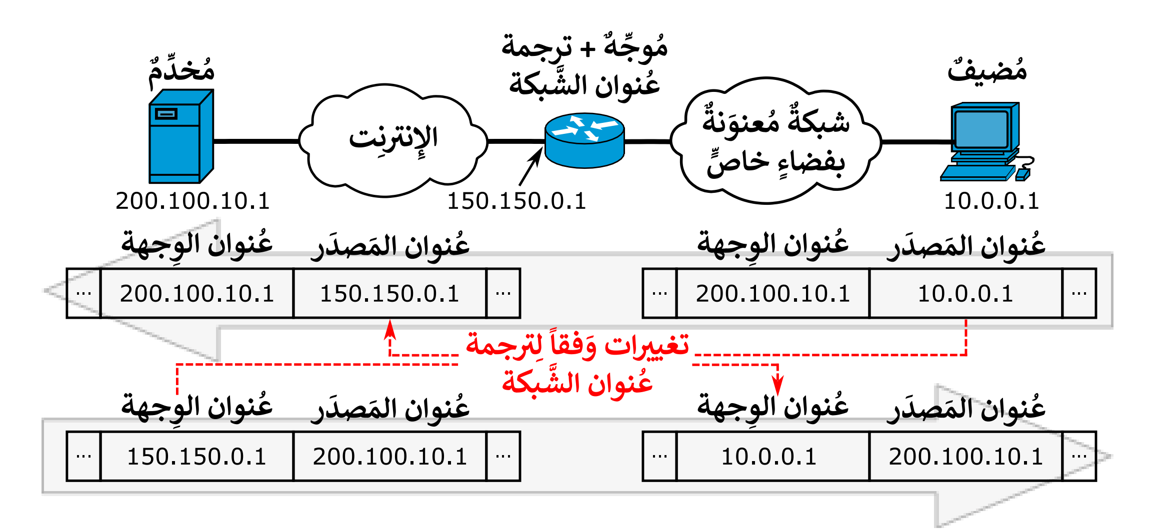
[469] انظر ص. 304 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[470] وهُما حَقل رَقم التَّتابُع وحَقل المُعرِّف، لِلمزيد حولهما انظر الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب.

[471] انظر ص. 3 في [RFC2663] في ثَبت المَراجِع.

تغيير مُحتوَى ترويسة بروتوكول الإنترنت أو بروتوكول النَّقل المُستعمَل الحاجة إلى إعادة حساب قِيمة حَقل التَّحقُّق الجمعيّ في كُلِّ ترويسةٍ عُدِّلت قِيمة أحد حُقولها.

يُبيِّن الشَّكل (9-1) عمليَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة، وفيها يُنشِئ مُوجِّهٌ جلسة ترجمةٍ بين مُضيفٍ ومُخدِّمٍ، ويُغيِّر فيها العناوين بالاتِّجاهين، أي عناوين المَصدَر في رِزم البيانات الوارِدة مِن الشَّبكة المَحلِّيَّة وعناوين الوِجهة في رِزم البيانات المُوجَّهة إليها.



الشَّكل (9-1): تبديل عناوين الإصدار الرَّابع مِن بروتوكول الإنترنت وَفقاً لِتقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة

تقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة هي آليَّةٌ مُكوَّنةٌ مِن أربع مراحل كما يَأتي:[472]

1. مَرحَلة التَّهيئة: وتَشمُل تشكيل ثُنائيَّاتٍ مِن المُعرِّفات، مثلاً عناوين إنترنت أو أرقام منافذ أو الاثنين معاً. تَتألَّف كُلُّ ثُنائيَّة مِن زوجين، أحدهما مِن النِّطاق الدَّاخِليّ والآخر مِن النِّطاق الخارِجيّ، وتَشمُل عمليَّة التَّهيئَة أيضاً تحديد اتِّجاه الجلسة، وهُو اتجاه حركة البيانات الَّذي يُشترَط لإنشاء الجلسة. تَرتبط كُلُّ ثُنائيَّةٍ بعد ذلك بعَلَمٍ لِبيان حالتها، ويَكون مَرفُوعاً، أي تُضبَط قِيمته على الواحِد، فقط إذا وُجِدت جلسةٌ جارِيةٌ تَرتبِط بهذه الثُّنائيَّة، وبخلاف ذلك فقِيمته صِفريَّةٌ.
2. مَرحَلة المُراقبة: ويُراقِب المُوجِّه فيها حركة البيانات الَّتي تَعبُره، فإذا مَرَّت رِزمة بياناتٍ كانت مَعلُومات التَّرويسة فيها مُتوافِقةً مع إحدى الثُّنائيَّات المُهيَّئَة في المرحلة السَّابِقة، وكان اتِّجاه حركة الرِّزمة مُتوافِقاً مع اتِّجاه إنشاء الجلسة أيضاً، فإنَّ جلسةً جديدةً ستَبدَأ.
3. مَرحَلة التَّرجمة: تُنشَأ فيها جلسةٌ جديدةٌ، ويُبدِّل المُوجِّه قِيم حُقُول تَّرويسة الرِّزمة الَّتي حَرَّضت إنشاء الجلسة بما يَتوافَق مع التَّهيئَة، ويُرفَع عَلَم الحالة المُرتبِط بثُنائيَّة المُعرِّفات ذات الصِّلة. تُتَرجَم خلال هذه المرحلة رِزم الجلسة المُتدفِّقة بكلا الاتِّجاهين الَّتي تَتوافَق قِيم حُقُولها مع إعدادات الجلسة.
4. مَرحَلة التَّحرير: وتَبدَأ مع إغلاق الجلسة فيَخفُض المُوجِّه عَلَم الحالة المُرتبِط بالجلسة، ويُحرَّر زوج العناوين، وتُعاد الآليَّة بذلك إلى مرحلة المُراقبة.

[472] انظر ص. 7-8 في [RFC3022] في ثَبت المَراجِع.

أَنماط التَّرجمة

يَتضمَّن أَبسط أَشكال التَّرجمة تبديل عُنوان مَصدَر رِزمة برُوتُوكُول الإنترنِت، وتحديداً استبدال عُنوان المَصدَر الخاصّ المَحلِّيّ بعُنوانٍ فريدٍ عالميَّاً، وتَبدُو الرِّزمة بعد ذلك كأَنَّها قادِمةٌ مِن العُنوان الجديد. بإمكان عمليَّة التَّرجمة أَن تَستبدِل أَيضاً عُنوان مَصدَر الرِّزم القادِمة مِن الإنترنِت إلى شَبكةٍ مَحلِّيَّة خاصَّة، فتَبدو بعد التَّرجمة كأَنَّها قادِمةٌ مِن وِجهةٍ فيها، ويُمكِن أَن تَشمُل العمليَّة استبدال عُنوان المَصدَر وعُنوان الوِجهة معاً.[473]

التَّرجمة التَّقليديَّة[474]

هي الشَّكل الأَبسط مِن ترجمة العناوين، وتَسمَح لِمُضيِفي عناوين نِطاقٍ داخِليٍّ بالاتِّصال مع مُضيِفي عناوين نِطاقٍ خارِجيٍّ. تَحصُل عمليَّة التَّرجمة في مُوجِّهٍ يَصِل بين النِّطاقين السَّابِقين، ويُنجِز أَيضاً عمليَّة التَّوجيه الَّذي يَكُون غير مرئِيٍّ بالنِّسبة لِلمُضيفِين. تَكُون الجلسات المُنشَأة وحيدة الاتِّجاه في هذا النَّوع مِن التَّرجمة، أَي بالإمكان إنشاؤُها باتِّجاهٍ وحيدٍ فقط، وغالباً ما يَكُون مِن النِّطاق الدَّاخِليّ نحو الخارِجيّ. يَلزَم الانتباه إلى أَنَّ حركة رِزم البيانات وعمليَّة ترجمة العناوين بعد إنشاء الجلسة تَكُون بكلا الاتِّجاهين، أَي أَنَّ الشَّرط السَّابِق هُو لِاتِّجاه إنشاء الجلسة وليس لِحركة رِزم البيانات في أَثنائِها.

تَشمُل ترجمة العناوين التَّقليديَّة نمطين هُما:[475]

- التَّرجمة الأَساسيَّة لِعناوين الشَّبكة[476] وتَحصُل على عناوين مَصادِر ووِجهات رِزم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. وتُصَنف إلى نوعين وَفقاً لِلطَّريقة الَّتي تُحدَّد بها ثُنائِيَّات العناوين الَّتي ستُترجَم بين النِّطاقين الدَّاخِليّ والخارِجيّ، وهُما:[477]
    - التَّرجمة الثَّابِتة لِعُنوان الشَّبكة.
    - التَّرجمة المُتغيِّرة لِعُنوان الشَّبكة.
- ترجمة عُنوان الشَّبكة وأَرقام المنافذ.[478]

التَّرجمة التَّقليديَّة الثَّابِتة

يُهيَّأ المُوجِّه المُترجِم في التَّرجمة الثَّابِتة بعَدَدٍ صَحيحٍ مِن ثُنائِيَّات عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت، لِيَكُن N، أَي $(add_{int_1}, add_{ext_1})$ و$(add_{int_2}, add_{ext_2})$ حتَّى $(add_{int_N}, add_{ext_N})$، وفيها add_{int} هُو عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت مِن نِطاق العناوين الدَّاخِليّ وadd_{ext} هُو عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت مِن نِطاق العناوين الخارِجيّ. يُهيَّأ المُوجِّه أَيضاً بالاتِّجاه المَسمُوح لِإنشاء الجلسة، وغالباً ما يَكُون مِن النِّطاق الدَّاخِليّ إلى الخارِجيّ في التَّرجمة التَّقليديَّة.

[473] انظر ص. 304-305 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[474] أَصل الاسم Traditional NAT.

[475] انظر ص. 11 في [RFC2663] في ثَبت المَراجِع.

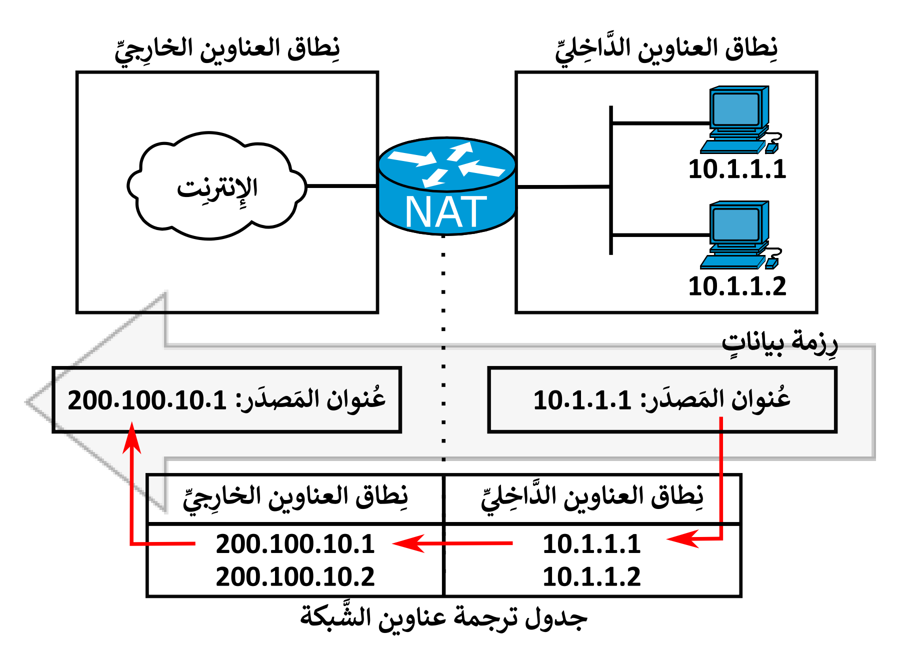
[476] أَصل الاسم Basic NAT.

[477] أَصل الاسمين Static NAT وDynamic NAT على التَّرتيب.

[478] أَصل الاسم Network Address Port Translation، اختصاراً NAPT.

يُراقِب المُوجِّه بعدها حركة البيانات المارَّة عبره لأجل إنشاء جلسة ترجمةٍ مُتوافِقةٍ مع ثُنائيَّات العناوين والاتِّجاه المَسمُوح. يُعدِّل المُوجِّه، بعد إنشاء الجلسة، عُنوان المَصدَر في رِزم البيانات القادِمة مِن النِّطاق الدَّاخِليِّ، ويُغيِّره إلى العُنوان الخارِجيِّ وَفقاً لِقِيم الثُّنائيَّات الَّتي هُيِّئ بها، أمَّا الرِّزم القادِمة مِن النِّطاق الخارِجيِّ إلى المُوجِّه في أثناء الجلسة، والَّتي تَكُون وِجهتها العنوان الخارِجيَّ add_{ext}، فيُعدِّله إلى العُنوان الدَّاخِليِّ وَفقاً لِقِيم الثُّنائيَّات السَّابِقة نفسِها.

يُبيِّن الشَّكل (9-2) مِثالاً عن ترجمة العناوين الثَّابِتة، وفيه يُهيَّأ مُوجِّهٌ يَربُط بين النِّطاق الدَّاخِليِّ والنِّطاق الخارِجيِّ بأربعة عناوينَ، اثنان مِن النِّطاق الدَّاخِليِّ هُما 10.1.1.1 و10.1.1.2، يُقابِلها اثنان هُما 200.100.10.1 و200.100.10.2 مِن النِّطاق الخارِجي، ويُضبَط اتِّجاه إنشاء الجلسة لِيَكُون مِن النِّطاق الدَّاخِليِّ نحو الخارِجيِّ، ثُمَّ يَنتظِر المُوجِّه المُترجِم مرور رِزمة بياناتٍ عبره تُحقِّق الشَّرطين السَّابِقين، وتَظهَر هذه الرِّزمة في القِسم الأسفل مِن الشَّكل.



الشَّكل (9-2): التَّرجمة التَّقليديَّة الثَّابِتة لِعناوين الشَّبكة

يُوصَف هذا النَّوع مِن التَّرجمة بأنَّه ثابِتٌ، لِأنَّ ثُنائيَّات العناوين الَّتي تَجرِي التَّرجمة بمُقتضاها ثابِتة البِنية لا تَتغيَّر آليّاً بعد ضبطها، ويُوصَف أيضاً بأنَّه ترجمةُ واحِدٍ في مُقابل واحِدٍ[479]، لِأنَّ المُوجِّه يُترجِم عُنواناً خاصّاً وحيداً مِن النِّطاق الدَّاخِليِّ إلى عُنوانٍ عامٍّ واحِدٍ مِن النِّطاق الخارِجيِّ والعكس بالعكس.

التَّرجمة التَّقليديَّة المُتغيِّرة

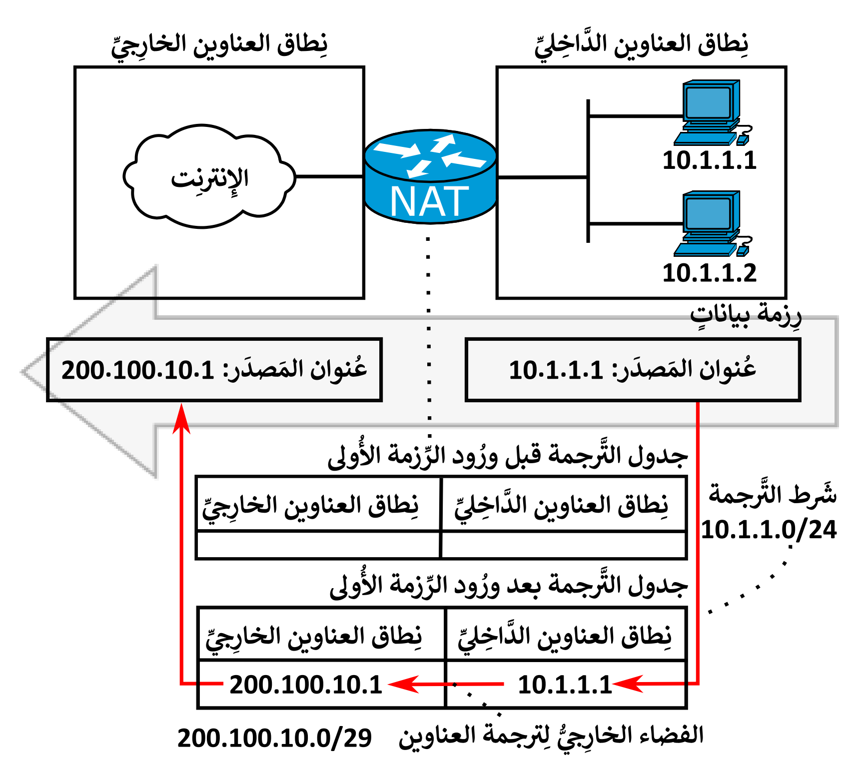
تُنشَأ جلسات التَّرجمة المُتغيِّرة انطلاقاً مِن النِّطاق الدَّاخِليِّ فقط، وفيها تُوجَد مَجمُوعةٌ مِن عناوين النِّطاق الدَّاخِليِّ عَدَدها M هي $grp_{int} = \{add_{int_1},\ add_{int_2}, \dots add_{int_M}\}$، ومَجمُوعةٌ مِن عناوين النِّطاق الخارِجيِّ عَدَدها N هي $grp_{ext} = \{add_{ext_1},\ add_{ext_2}, \dots add_{ext_N}\}$، ويَكُون شَرط بدء الجلسة أن يَنتمِي عُنوان مَصدَر الرِّزمة إلى مَجمُوعة عناوين النِّطاق الدَّاخِليِّ، أي grp_{int}، وأن يَتوافَق اتِّجاه حركتها مع اتِّجاه إنشاء الجلسة كما تَقدَّم.

[479] أصل الاسم One-to-one.

تَحصُل عمليَّة التَّرجمة التَّقليديَّة المُتغيِّرة وَفقاً لِلمراحل التَّالِية:[480]

1. تهيئة المُوجِّه المُترجِم بشَرطَي التَّرجمة: فضاء عناوين النِّطاق الدَّاخِليّ واتِّجاه حركة الرِّزم، وأيضاً بفضاء عناوينَ مِن النِّطاق الخارِجيّ.
2. يُراقِب المُوجِّه المُترجِم حركة رِزم البيانات المارَّة عبره في انتظار أن تُحقِّق رِزمةٌ ما شَرطَي التَّرجمة.
3. لو حقَّقت رِزمةٌ ما الشَّرطين، يَبدَأ المُوجِّه عمليَّة التَّرجمة، فيَختار عُنواناً ما مِن مَجمُوعة عناوين النِّطاق الخارِجيّ grp_{ext}، ولِيَكُن مثلاً add_{ext_i}، ويَربُطه مع عُنوان مَصدَر الرِّزمة الَّذي يَنتمِي إلى مَجمُوعة عناوين النِّطاق الدَّاخِليّ grp_{int}، ولِيَكُن مثلاً add_{int_j}، ثُمّ يُشكِّل مِنهما آليّاً الثُّنائيَّة $(add_{int_j}, add_{ext_i})$.
4. يَحتفِظ المُوجِّه بالثُّنائيَّة السَّابِقة في جدول التَّرجمة الآليَّة، ويَستعمِلها عند إجراء عمليَّات تبديل عناوين مصادر رِزم البيانات في الجلسة ذات الصِّلة.
5. يُحرِّر المُوجِّه زَوجَي الثُّنائيَّة السَّابِقة عند إغلاق الجلسة لِإعادة استخدامهما مرَّةً أُخرَى في تشكيل ثُنائيَّات جديدةٍ.

يُبيِّن الشَّكل (9-3) مِثالاً عن ترجمة العناوين المُتغيِّرة، وفيه يُهيَّأ مُوجِّهٌ يَربُط بين النِّطاق الدَّاخِليّ والنِّطاق الخارِجيّ بفضاء عناوينَ مِن النِّطاق الدَّاخِليّ هو 10.1.1.0/24، ويَكُون انتماء عناوين مصادر الرِّزم إليه شَرطاً أوَّلاً لِبدء التَّرجمة، بالإضافة لِضبَط اتِّجاه إنشاء الجلسة لِيَكُون مِن النِّطاق الدَّاخِليّ نحو الخارِجيّ وهذا هُو شَرط بدء التَّرجمة الآخر. يُهيَّأ المُوجِّه أيضاً بفضاء عناوينَ مِن النِّطاق الخارِجيّ لِيُصار إلى نقل العناوين إليه وهُو 200.100.10.10/29، ثُمَّ يَنتظِر المُوجِّه المُترجِم مُرُور رِزمة بياناتٍ عبره تُحقِّق الشَّرطين السَّابِقين، وتَظهَر هذه الرِّزمة في القِسم الأَسفل مِن الشَّكل.



الشَّكل (9-3): التَّرجمة التَّقليديَّة المُتغيِّرة لِعناوين الشَّبكة

[480] انظر ص. 312 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

تَكُون الثُّنائيَّة غير ثابِتة البِنية، أَي بالإمكان أَن يَرتبِط أَحد زوجيها مع أَزواجٍ أُخرَى، في جلساتٍ أُخرَى لاحِقةٍ، والعكس بالعكس في ما يَخصُّ الزَّوج الآخر، وذلك عِوضاً عن اعتماد ثُنائِيَّاتٍ مُحدَّدة الأَزواج، كما هُو الحال في التَّرجمة التَّقليديَّة الثَّابِتة.

قد تَكُون عناوين المَجمُوعتين السَّابِقتين مُختلِفة العَدَد، وغالباً ما يَكُون عَدَد العناوين المُتاح لِتشكيل الثُّنائِيَّات في النِّطاق الدَّاخِليّ أكبر مِن ذلك المُتاح في النِّطاق الخارِجيّ، ويَبنِي المُوجِّه عندها الثُّنائِيَّات مِن عناوين النِّطاقين وَفقاً لِما سبق حتَّى استنفاد فضاء عناوين النِّطاق الأَصغر حجماً، ولا يُمكِن بعدها إنشاء أَيّ جلسةٍ جديدةٍ حتَّى يَتحرَّر زوجان مَحجُوزان مِن جلسةٍ سابِقةٍ. تُوصَف هذه التَّرجمة أَيضاً بأَنَّها ترجمة واحِدٍ في مُقابِل واحِدٍ، لِأَنَّها تُترجِم عُنواناً خاصَّاً واحِداً مِن النِّطاق الدَّاخِليّ إلى عُنوانٍ عامٍّ واحِدٍ مِن النِّطاق الخارِجيّ.

التَّرجمة التَّقليديَّة لِلعُنوان ورقم المَنفَذ

في ترجمة العناوين وأَرقام المنافذ، ومِن أَجل الرِّزم الوارِدة إلى المُوجِّه مِن نِطاق العناوين الدَّاخِليّ باتِّجاه النِّطاق الخارِجيّ، يُبدَّل بعُنوان المَصدَر في الرِّزمة add_{int} وبرقم مَنفَذ المَصدَر فيها prt_{int} عُنوانٌ آخرُ هُو add_{ext} ورقمُ مَنفَذٍ آخرُ هُو prt_{ext}، أَخذاً بالحسبان أَنَّ العُنوان add_{int} يَنتمِي لِلنِّطاق الدَّاخِليّ والعُنوان add_{ext} يَنتمِي لِلنِّطاق الخارِجيّ، ويُعبَّر عن عملية التَّرجمة هذه بالشَّكل $add_{int}: prt_{int} \rightarrow add_{ext}: prt_{ext}$.

تَجرِي العمليَّة السَّابِقة على فضاءٍ مُحدَّدٍ مِن النِّطاقين الدَّاخِليّ والخارِجيّ، مع ضبط الثُّنائِيَّات ضَبطاً مُسبَقاً أَو توليدها آليَّاً وَفقاً لِلحاجة.[481]

يُوجَد شكلٌ خاصٌّ مِن ترجمة أَرقام المنافذ، يُسمَّى التَّحميل الزَّائِد لِترجمة أَرقام المَنافِذ،[482] وفيه يُستخدَم عُنوان مَصدَرٍ وحيدٍ فقط مِن النِّطاق الخارِجيّ في عمليَّة التَّرجمة. فلو كانت ثُنائِيَّات العناوين وأَرقام المنافذ في النِّطاق الدَّاخِليّ هي $add_{int_1}: prt_{int_1}$ و $add_{int_2}: prt_{int_2}$ و $add_{int_3}: prt_{int_3}$، وبَدَأ كُلٌّ مِنها جلسة ترجمةٍ، فإِنَّها ستُترجَم وَفقاً لِعمليَّة التَّحميل الزَّائِد إلى $add_{ext_1}: prt_{ext_1}$ و $add_{ext_1}: prt_{ext_2}$ و $add_{ext_1}: prt_{ext_3}$ على التَّرتيب. ويُمكِن لِهذه الطَّريقة أَن تَسمَح، نظريَّاً، بترجمة ما يَزيد عن 65 أَلفاً[483] مِن العناوين الدَّاخِليَّة باستعمال عُنوانٍ خارِجيٍّ وحيدٍ، وتُقلِّل بذلك مِن استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت. يُمكِن أَن تَجرِي عمليَّة التَّرجمة على بعضٍ مِن رسائِل الإعلام في بروتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت وَفقاً لِلطَّريقة السَّابِقة نفسِها.[484]

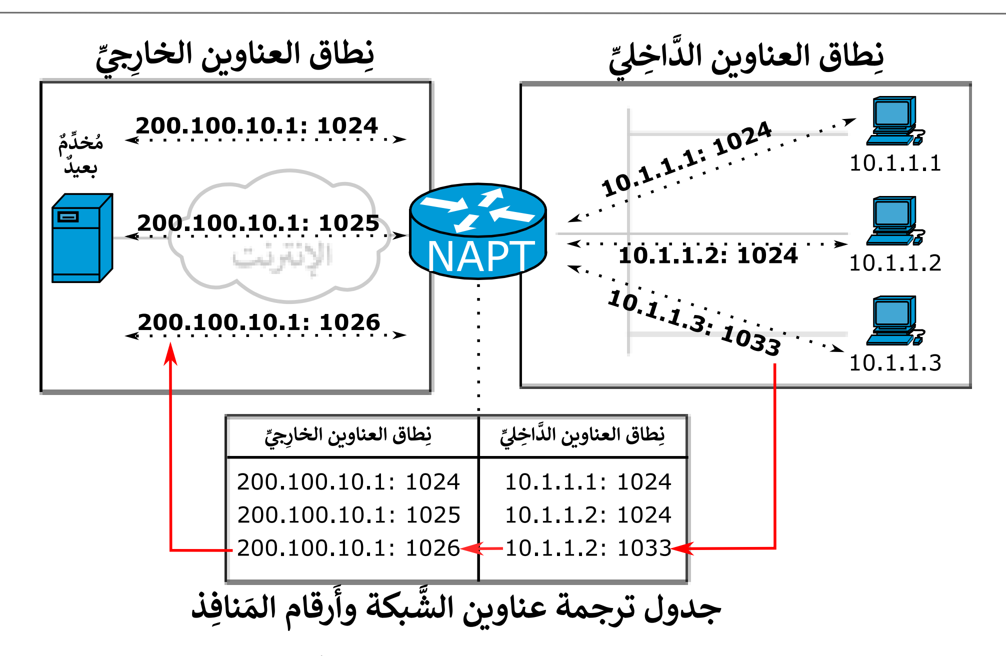
ويُبيِّن الشَّكل (9-4) مِثالاً عن التَّحميل الزَّائِد في التَّرجمة التَّقليديَّة لِلعناوين وأَرقام المنافذ، وفيه تُترجَم عناوين مصادر رِزم ثلاثة مُضيفِين مِن النِّطاق الدَّاخِليّ لِتَظهَر وكأَنَّها مُرسَلةٌ مِن مَصدَرٍ وحيدٍ في النِّطاق الخارِجيّ عُنوانه 200.100.10.1.

[481] لِلمزيد انظر ص. 311 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[482] أَصل الاسم Port address translation overloading، انظر ص. 282 في [BKA01] في ثبَت المَراجِع.

[483] يَتحدَّد هذا العَدَد بطُول حُقُول أَرقام المنافذ، وهي 16 بتاً، لِذلك يُوجَد نظريَّاً 2^{16} = 65536 قِيمةٍ مُحتمَلةٍ لِرقم المَنفَذ.

[484] تحديداً تلك الَّتي تَحوِي حَقلي المُعرِّف ورَقم التَّابع، لِلمزيد انظر ص. 8-9 في [RFC3022] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (9-4): التَّحميل الزَّائِد في التَّرجمة التَّقليديَّة لِلعناوين وأرقام المنافذ

يُمكِن أيضاً تَبيُّن أرقام المنافذ المُستعمَلة في الشَّكل السَّابِق، وهي قبل التَّرجمة: 1024 لِلمُضيفَين الأوَّل والثَّاني، و1033 لِلمُضيف الثَّالِث، وبعد التَّرجمة: 1024 و1025 و1026 لِلمُضيفِين الثَّلاثة على التَّرتيب. بما أنَّ مَصدَر الاتِّصالات الثَّلاثة في النِّطاق الخارِجيّ يَظهُر كأنَّه العُنوان 200.100.10.1، فإنَّ أرقام المَنافِذ بعد التَّرجمة هي الوسيلة الوحيدة لِتمييز هذه الاتِّصالات بعضُها عن بعضٍ، ولِهذا الغرض، يَحتفِظ المُوجِّه المُترجِم بأرقام المنافذ ضِمن جدولِ التَّرجمة خاصَّته.

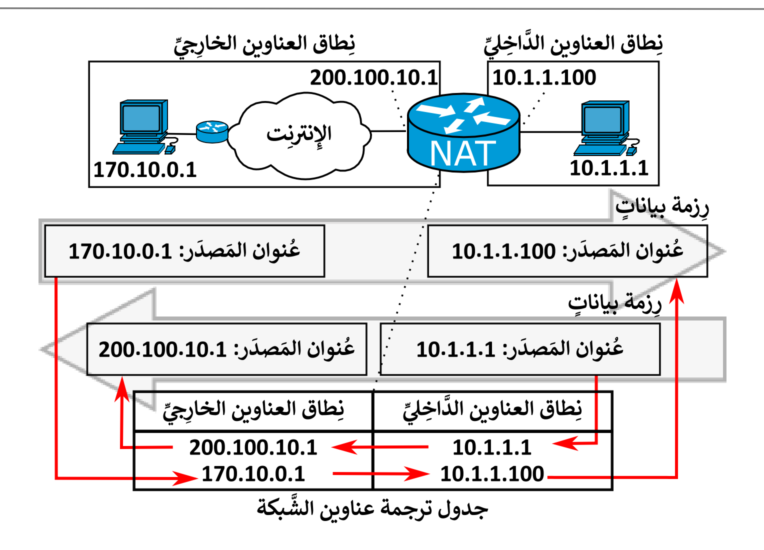
التَّرجمة ثُنائيَّة الاتِّجاه لِعُنوان الشَّبكة[485]

هي شكلٌ مِن أشكال ترجمة عُنوان الشَّبكة يَسمَح بإنشاء الجلسات بدءاً مِن مُضيفِين مُتواجِدين في نِطاقي العناوين، أي انطلاقاً مِن النِّطاق الدَّاخِليّ أو مِن النِّطاق الخارِجيّ. وفي ما خلا ذلك، فإنَّ عمليَّة التَّرجمة ثُنائيَّة الاتِّجاه تَخضَع لِلقواعد المُستعمَلة في التَّرجمة التَّقليديَّة نفسِها سواءً لِجهة كيفيَّة إنشاء ثُنائيَّات العناوين الَّتي ستُترجم أو لِجهة ما يُترَجَم، أي عناوين المُضيفِين أو أرقام المنافذ أو كليهما.[486]

ويُبيِّن الشَّكل (9-5) مِثالاً عن ترجمة العُنوان ثُنائيَّة الاتِّجاه، ويَظهَر فيه إمكانيَّة إنشاء جلسة ترجمةٍ مِن النِّطاق الدَّاخِليّ نحو الخارِجيّ، أو باتِّجاه مُعاكِسٍ، أي مِن النِّطاق الخارِجيّ نحو الدَّاخِليّ، وتُعامَل رِزمة البيانات المُعامَلة نفسَها في كِلتا الحالتين، ويَظهَر في أسفل الشَّكل جدول ترجمة العناوين في أثناء نشاط الجلستين.

[485] أصل الاسم Bidirectional NAT، وتُسمَّى أيضاً Two-way NAT.

[486] انظر ص. 12 في [RFC2663] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (9-5): التَّرجمة ثُنائيَّة الاتِّجاه لِعُنوان الشَّبكة

التَّرجمة المُضاعَفة لِعُنوان الشَّبكة[487]

هي شكلٌ مِن أَشكال ترجمة عُنوان الشَّبكة، يُعدَّل فيه عُنوان المَصدَر و عُنوان الوِجهة معاً في رِزمة البيانات الَّتي تُتَرجَم، لِذلك تُوصَف هذه التَّرجمة بالمُضاعَفة تمييزاً لها عن التَّرجمة التَّقليديَّة وعن التَّرجمة ثُنائِيَّة الاتِّجاه.

تُضيف هذه التَّرجمة بُعداً جديداً لِآليَّة تصنيف العناوين هُو النِّطاق الَّذي تُستخدَم العناوين فيه، فإذا كان العُنوان مُستخدَماً في نِطاقه فهُو عُنوانٌ مَحلِّيٌّ، وإن كان مُستخدَماً خارِج نِطاقه فهُو عُنوانٌ عالَميٌّ، وبإضافة هذا لِمَنهَج تصنيف العناوين على أَساس مَوقِع مُضيفها يُمكِن تعريف العناوين التَّالِية:[488]

- العُنوان الدَّاخِليُّ المَحلِّيُّ: هُو عُنوانٌ مُستضافٌ في النِّطاق الدَّاخِليّ، ويُستعمَل في ذلك النِّطاق أَيضاً.
- العُنوان الدَّاخِليُّ العالَميُّ: هُو عُنوانٌ مُستضافٌ في النِّطاق الدَّاخِليّ، ولكنَّه يُستعمَل خارِج النِّطاق. أَي هُو عُنوانٌ لِمُضيفٍ داخِليٍّ، ولكنَّه مرئِيٌّ مِن النِّطاق الخارِجيّ.
- العُنوان الخارِجيُّ المَحلِّيُّ: هُو عُنوانٌ مُستضافٌ في النِّطاق الخارِجيّ، ويُستعمَل في ذلك النِّطاق أَيضاً.

[487] أَصل الاسم Twice NAT، و تُسمَّى أَيضاً ترجمة عناوين الشَّبكة المُتراكِبة Overlapping NAT، وهذا الاسم مَأخُوذٌ مِن أَحد تطبيقات التِّقنيَّة، وفيه يُوجَد فضاءا عناوين مُتراكِبان، أَحدهما في النِّطاق الخارِجيّ والآخر في النِّطاق الدَّاخِليّ، وتَسمَح هذه التِّقنيَّة لِمُضيفي هذه العناوين المُتباعِدين بالتَّواصل بعضُهما مع بعضٍ وبتبادل البيانات كأَنَّهما مُوجُودان في شَبكةٍ واحِدةٍ.

[488] يُوجَد لغطٌ في التَّسمية الإنكليزيَّة، فالأَسماء المُستعمَلة لِوصف هذه التِّقنيَّة في أَدبيات شَبكات البيانات لا تَتَوافَق مع ما ورد في المِعيار الرَّسميّ، وفي هذه الأَدبيات يُشار إلى النِّطاق الدَّاخِليّ باستعمال كلمة Local، وإلى النِّطاق الخارِجيّ باستعمال كلمة Global، بدلاً مِن Insideو Outside المُستعمَلة على التَّرتيب في معيار التِّقنيَّة. ولكن في الوقت نفسِه فإنَّ هاتين الكلمتين، أَي Insideو Outside، تُستعمَلان في الأَدبيات نفسِها لِتحديد النِّطاق الَّذي يُستخدَم فيه العُنوان، وتكون أَسماء العناوين في هذه الأَدبيات كما يَأتي:

- الدَّاخِليُّ المَحلِّيُّ Inside local
- الخارِجيُّ المَحلِّيُّ Inside Global
- الدَّاخِليُّ العالَميُّ Outside local
- الخارِجيُّ العالَميُّ Inside Global

ويُسبِّب هذا لَبساً في التَّعامُل مع المُصطلَحات، وقد تَجاوزناه ولم نَأخُذ به عند التعريب، بل نَقلنا العناوين إلى العربيَّة بتصرُّفٍ لِلتَّوحيد مع المِعيار الأَصيل ولإزالة هذا اللَّبس.

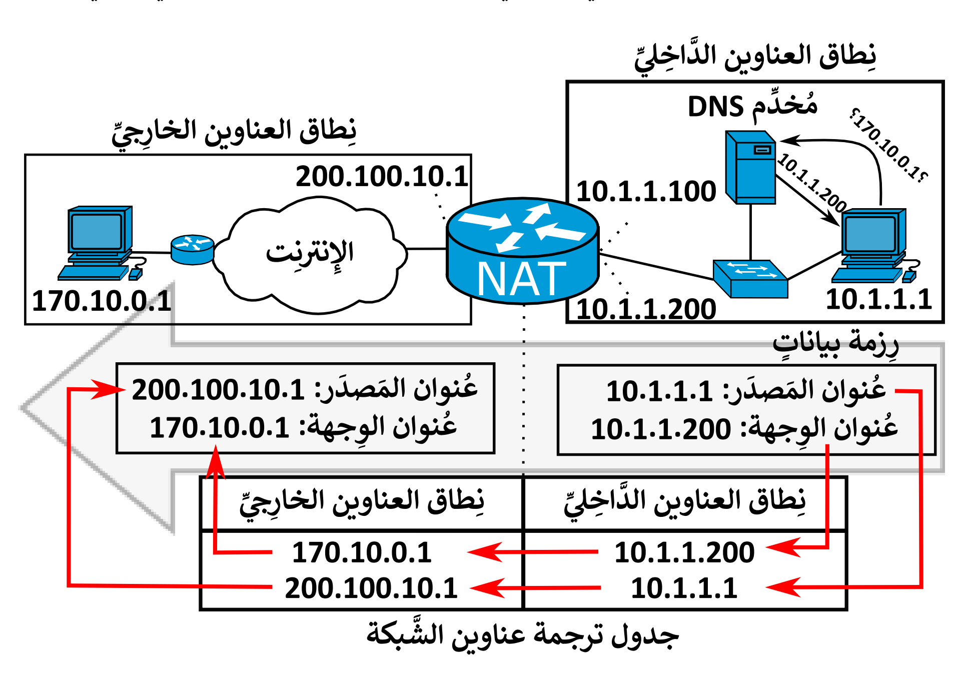
- العُنوان الخارجيُّ العالَميُّ: هُو عُنوانٌ مُستضافٌ في النِّطاق الخارجيِّ، لكنَّه يُستعمَل خارِج النِّطاق. أيْ هُو عُنوانٌ لِمُضيفٍ خارِجيٍّ، ولكنَّه مَرئيٌّ مِن النِّطاق الدَّاخِليِّ.

يُهيِّأ المُوجِّه المُترجِم بثُنائِيَّتين كما سيأتي:

1. الأَوَّلى هي $(add_{int_i}, add_{int_j})$، وفيها add_{int_i} هُو عُنوانٌ داخِليٌّ مَحلِّيٌّ لِمَصدَر الرِّزمة الَّتي ستُرجَم، وadd_{int_j} هُو عُنوانٌ داخِليٌّ عالَميٌّ، لِوِجهة الرِّزمة الَّتي ستُرجم.
2. الأُخرى هي $(add_{ext_k}, add_{ext_l})$، وفيها add_{ext_k} هُو عُنوانٌ خارِجيٌّ عالَميٌّ لِمَصدَر الرِّزمة بعد التَّرجمة، وadd_{ext_l}، هو عُنوانٌ خارِجيٌّ عالَميٌّ تَستضيفه وِجهة الرِّزمة.

إذا وَردت لِلمُوجِّه بعد ذلك رِزمةٌ مِن النِّطاق الدَّاخِليِّ وِجهتها هي العُنوان الخارِجيُّ المَحلِّيُّ، ولِيَكُن مثلاً عُنوان مَصدَرها هُو add_{int_i} وعُنوان وِجهتها هُو add_{int_j}، فإنَّ المُوجِّه سيُبدِّل قِيمة العُنوانين إلى add_{ext_k} وadd_{ext_l} على التَّرتيب، أيْ: $(add_{int_i}, add_{int_j}) \rightarrow (add_{ext_k}, add_{ext_l})$.

يُبيِّن الشَّكل (9-5) مِثالاً عن التَّرجمة المُضاعَفة، وفيه يُوجَد مُخدِّمٌ لِنِظام تسمية نِطاقاتٍ[489] نَشِطٌ في نِطاق عناوينَ داخِليٍّ، وقد هُيِّئ مُسبَقاً بثُنائِيَّاتِ العناوين الَّتي يُترجمها المُوجِّه. يُريد مُضيفٌ عُنوانه 10.1.1.1 (داخِليٌّ مَحلِّيٌّ) مَوجُودٌ في النِّطاق الدَّاخِليِّ أن يُرسِل رِزمة بياناتٍ نحو النِّطاق الخارِجيِّ إلى المُضيف ذي العُنوان 170.10.0.1 (خارِجيٌّ عالَميٌّ)، فيَستفسِر مِن مُخدِّم نِظام تسمية النِّطاقات عن زوج العناوين الآخر الَّذي يُمثِّل عُنواناً داخِليّاً عَالَميّاً يُكمِّل ثُنائيةً مع العنوان الدَّاخِليِّ المَحلِّيِّ، فيُعيد المُخدِّم إليه عُنوان المُوجِّه المحلِّيِّ، وهُو في هذه الحالة 10.1.1.200 (داخِليٌّ عالَميٌّ).



الشَّكل (9-6): التَّرجمة المُضاعَفة لِعُنوان الشَّبكة

[489] أَصل اسم النِّظام Domain Name System، اختصاراً DNS، وأَصل اسم المُخدِّم DNS server.

يُرسِل المُضيف بعد ذلك رِسالته في رِزمة بياناتٍ عُنوان مَصدَرها 10.1.1.1 وعُنوان وِجهتها 10.1.1.200، فتَصِل إلى المُوجِّه المُترجِم، وهي تَتَوافق مع أَحد بُنُود جدول التَّرجمة فيه، فيُبدِّل عُنوان المَصدَر في الرِّزمة لِيُصبِح 200.100.10.1 (خارِجيٌّ مَحلِّيٌّ) وعُنوان الوِجهة لِيُصبِح 170.10.0.1، أَي أَنَّ المُوجِّه يُغيِّر عُنوان المَصدَر وعُنوان الوِجهة معاً، فتَبدُو الرِّزمة كأَنَّها مُرسَلةٌ مِن مُضيفٍ أَوَّلَ في نِطاق العناوين الخارِجيِّ إلى مُضيفٍ آخرَ فيه.

اعتباراتٌ إِضافيَّةٌ

طَبقة الشَّبكة

بِرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنت

هُو بِرُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ لِلإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت، يُعرِّف رسائِلَ مُتعدِّدةً يَتبادَلها مُضيفو الإنترنِت لِأَغراضٍ تَتَعلَّق بِإدارةٍ أَكثرَ كفاءَةً لِلشَّبكة. تُصَنف رسائِل هذا البرُوتُوكُول إلى صَنفين: رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء ورسائِل الإعلام، وقد نُوقِش الصَّنفان بالتَّفصيل في الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب.

تُؤَثِّر تقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة على نوعي رسائِل البرُوتُوكُول. في ما يَخصُّ رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء، فقد تَحتوِي ترويسةَ بِرُوتُوكُول إنترنِت كامِلةٍ أَو جُزئِيَّةٍ تَضمُّ عناوين بِرُوتُوكُول إنترنِت، وإذا ما انتقلت الرِّسالة بين النِّطاقين الدَّاخِليِّ والخارِجيِّ، وأُجريت ترجمة عُنوان الشَّبكة عليها، لَزِم أَيضاً ترجمة العناوين المَحمُولة فيها. أَمَّا في ما يَخصُّ رسائِل الإعلام، فيُمكِن ترجمة مُعرِّفِي الرِّسالة[490] ترجمةً مُشابِهةً لِترجمة أَرقام المنافذ. في كلتا الحالتين، ونتيجةً لِتغيُّر مُحتوَيات التَّرويسة، يَلزَم إعادة حساب حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ فيها.

وُصِفت المُتطلَّبات السُّلُوكيَّة[491] اللَّازمة لِعمل ترجمة عُنوان الشَّبكة مع بِرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 5508.[492]

الإصدار السَّادِس مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت

تُوجَد حالةٌ مِن الجدل حول استعمال ترجمة عُنوان الشَّبكة مع الإصدار السَّادِس مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت. يُحاجِج البعض أَنَّ استعمال التَّرجمة يُلغِي مَبدَأً رئِيساً مِن المبادِئ الَّتي قامَت عليها الإنترنِت، وهُو مَبدَأ الطَّرفين[493]، ويَقولون بأَنَّ تطوير واستعمال ترجمة عُنوان الشَّبكة كان حَلَّاً ضِمن الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد لِمُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت،[494] وبما أَنَّ مُشكِلة الاستنفاد قد حُلَّت مع تطوير الإصدار السَّادِس، فقد زَال السَّبب الَّذي أَدَّى إلى تطوير تِقنيَّة التَّرجمة، وهُو مَحدوديَّة فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت، ويَستنِد هَؤُلاء في دفاعهم إلى

---

[490] هُما مَوجُودان في حَقل المُعرِّف وحَقل رَقم التَّتابع، انظر ما جاء في شَأنهما في الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب.

[491] أَصل الاسم Behavioral requirements.

[492] انظر [RFC5508] في ثَبت المَراجِع.

[493] راجِع حواشِي الفصل الأَوَّل مِن هذا الكِتاب لِلمزيد حول هذا المبدَأ.

[494] انظر نِقاشاً مُوسَّعاً حول هذه المسأَلة في [RFC5902] في ثَبت المَراجِع.

حقيقة أَن استعمال ترجمة عُنوان الشَّبكة يُقَوِّض شفافيَّة الإنترنِت[495]، ولِذلك فإِنَّ وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 4924 تُوصِي بتَجنُّب استعمال آليَّة ترجمة العُنوان مع الإِصدار السَّادِس ما دام ذلك مُمكِناً.[496]

أَمَّا الفريق المُؤَيِّد لِلاستعمال فيُجادِل بأَنَّ التَّرجمة تُقدِّم عَدَداً مِن المنافع والتَّسهيلات لا بديل آخرَ لها أَو يَصعُب التَّخلِّي عنها، ويَقولون بضرورة عدم اقتصارها على الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، لِأَنَّها تَصلُح أَيضاً لِلإِصدار السَّادِس، ومِن الفوائِد على سبيل المِثال، تَجنُّب عمليَّة إِعادة العنونة إِذا انتقلت مُنظَّمةٌ ما مِن مَوقِعٍ جُغرافيٍّ إِلى آخرَ، وعندها يُمكِن لِلمُنظَّمة أَن تُحافِظ على فضاء العناوين القديم بوصفه نِطاقاً داخِليّاً محلِّيّاً، وتَتَّصل مع سائِر الشَّبكة بصفته نِطاقاً خارِجيّاً عبر عمليَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة. ومِن مَنافِع التَّرجمة أَيضاً استعمالها حلّاً لِمسأَلة المُنظَّمات مُتعدِّدة المواقع، أَي الَّتي تَكُون أَماكِن استضافتها مُتباعِدةً جُغرافيّاً لكنَّ المُضيفِين فيها مُعنوَنون بفضاء العناوين ذاتِه، ونُوقِشت هذه المسأَلة في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب. يُمكِن في هذه الحالة السَّماح لِلمُضيفِين بتبادُل البيانات في ما بينهم باستعمال ترجمة العناوين المُضاعَفة مِن غير الحاجة لِإعادة العنونة. ومِن المنافع أَيضاً مسأَلة توحيد إِعدادات التَّهيئَة، فلو عُنوِنت الشَّبكات المَحلِّيَّة كُلُّها باستعمال فضاء العناوين الخاصِّ نفسِه واتَّصلت مع سائِر الإنترنِت عبر عمليَّة ترجمةٍ مُوحَّدةٍ، لأَمكن إِعداد تهيئَةٍ مِعياريَّةٍ تُستعمَل في أَيِّ شبكةٍ مَحلِّيَّةٍ مُعنوَنةٍ بذلك الفضاء، وهي الحالة السَّائِدة اليوم في المُوجِّهات المُستعمَلة في الشَّبكات المَحلِّيَّة المَنزِليَّة.[497]

طُوِّرت تقنيَّةٌ خاصَّةٌ لِترجمة عُنوان الشَّبكة مِن أَجل الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ووُصِفت في الوثيقة RFC 6296 التي صدرت في شهر يُونيُو من العام 2011م، ولكنَّ هذا العمل ظَلَّ ضِمن الإِطار التَّجريبيِّ ولم يَنتقِل إِلى مرحلة المِعيار الرَّسميِّ.[498]

طَبقة النَّقل

برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل

هُو برُوتُوكُول نقلٍ يُؤَمِّن توصيلاً مَوثُوقاً لِلبيانات عبر قنواتٍ اتِّصالٍ مُهيَّأةٍ.[499] إِذا اُستعمِل، تُراقِب آليَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة مُحتوَيات ترويسة البرُوتُوكُول المَوجُودة داخِل رِزم البيانات المُتبادَلة بين طَرفي الاتصال مِن أَجل تحديد مَتى تَبدَأ الجلسة.

يُنشَئ الاتِّصال بين طَرفين، وَفقاً لِبرُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل، بعد إِنجاز عمليَّة المُصافحة الثُّلاثيَّة[500] الَّتي تَشمُل تبادُلاً لِمَعلُوماتٍ ذات صِلةٍ بالاتِّصال، مِثل رقم التَّتابُع. يُمكِن تحديد حُصُول المَصافحة الثُّلاثِيَّة مِن خلال تمييز نمطٍ مُحدَّدٍ

[495] أَصل الاسم Internet transparency.

[496] انظر [RFC4924] في ثَبت المَراجِع.

[497] وغالباً ما تُضبَط هذه المُوجِّهات لِتُعنوِن الشَّبكة المحلِّيَّة افتراضيّاً بعناوينَ مِن الفضاء الخاصِّ 192.168.0.0/16 أَو أَفضيةٍ فَرعيَّةٍ منه.

[498] انظر [RFC6296] في ثَبت المَراجِع.

[499] انظر هذا التَّعريف في ص. 386 في [BKE01]، وانظر مِعيار البروتوكول في [RFC793] في ثَبت المَراجِع.

[500] المُصافحة ثُلاثيَّة المراحل أَو الثُّلاثيَّة اختصاراً Three-way handshaking، انظر ص. 82 في [BKE01]، في ثَبت المَراجِع.

لِقيم عَلَمين مِن أَعلام البرُوتُوكُول مَوجُودين في ترويسته داخِل الرَّسائِل المُتبادَلة بين الطَّرفين، وهذان العلَمان هُما عَلَم المُزامَنة وعَلَم إشعار التَّأكيد.[501]

تُراقِب آليَّة التَّرجمة مُحتويات التَّرويسة مُراقَبةً مُشابِهةً لما سَبق لِتحديد نهاية الجلسة، والَّتي قد تُوصَف بأنَّها اعتياديَّةٌ، أَو بأنَّها مُتزامِنةٌ، إذا رُفِع عَلَم النِّهاية في ترويسة البرُوتُوكُول، وتُوصَف أَيضاً بأنَّها مُستحسَنةٌ لو رُفِع عَلَم إعادة الضَّبط.[502] تَصِف الوثيقة RFC 5382 المُتطلِّبات السُّلُوكيَّة اللَّازِمة لِعمل آليَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة مع برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل مِن غير حُصُول مُشكِلاتٍ.[503]

تُحدِّد الوثيقة السَّابِقة أَيضاً كيفيَّة التَّعامُل مع حالات انقطاع الاتِّصال، وهي الحالات الَّتي يَتوقَّف فِيها أَحد الأَطراف عن المُشاركة في الجلسة فجأَةً مِن غير إنهائِها أَو تلك الَّتي يَتعذَّر فيها تحديد حالة الطَّرف الآخر، ويَلزَم عندها على المُوجِّه المُترجِم أَن يُنهِي الجلسة مِن تلقاء ذاتِه. تُحدِّد الوثيقة زمناً لِلانتظار في حال غياب أَيِّ نشاطٍ مِن الطَّرف الآخر وهُو أَربع دقائِقَ تَبدَأ بعد آخر نشاطٍ، إذا كان إنشاء الاتِّصال قد بَدَأ، ولكنَّه لم يَكتمِل، وساعتان وأَربع دقائِقَ إذا كان الاتِّصال مُنشَأً ونشيطاً.[504] تَتَناول الوثيقة أَيضاً كيفيَّة التَّعامُل مع حالة الاستهلال المُتزامِن لِلاتِّصال،[505] وهي حالةٌ خاصَّة يُحاوِل فيها طَرفا الاتِّصال إنشاءَه في الوقت نفسِه، ويَكُون التَّغيير في تَتَابُع قِيم الأَعلام مُختلِفاً عندها عن النَّمط المَوجُود في المُصافحة الثُّلاثيَّة[506]، ويَحتاج لِمُعالَجة أُخرَى مُستقِلَّة عن ما سَبق.

برُوتُوكُول حِزم بيانات المُستخدِم

هُو برُوتُوكُول نقلٍ غير مَوثُوقٍ يُؤمِّن اتِّصالاً لِنقل البيانات عبر قنواتٍ غير مُهيَّأةٍ.[507] يَدعم هذا البرُوتُوكُول عمليَّة نقل البيانات مِن غير تأسيس اتِّصالٍ، وهُو لا يَطلُب إشعاراً مِن المُستقبِل لِتأكيد استلام البيانات المُرسَلة، ولِذلك تَكُون ترويسته أَقصر طُولاً وآليَّة عمله أَقلَّ تعقيداً. نتيجةً لِذلك، لا تُوجَد أَعلامٌ في التَّرويسة تَساعِد على تحديد مَتَى يُنشَأ الاتِّصال أَو يَنتهِي، وتَتَأثر جلسة التَّرجمة بما سَبق، خاصَّةً في مسأَلة تحديد مَتَى تَنتهِي الجلسة. لِلتَّغلب على هذه المُشكِلة، فإنَّ المُوجِّه المُترجِم يَضبُط مع بدء الجلسة مُؤقِّت انتظارٍ تنازليَّاً لِمدَّةٍ زمنيَّةٍ يُمكِن تحديدها، ويُستحسَن أَلَّا تَقِلَّ عن دقيقتين.

تَبدَأ الجلسة عادةً عندما تَرِد رِزمة بياناتٍ تُحقِّق شُرُوط التَّرجمة، فيُترجمها المُوجِّه وَفقاً لما هُيِّئ به، ويُرفَع عَلَم الحالة الخاصِّ بثُنائيَّة لِلمُعرِّفاتٍ الَّتي استعملها لِلدَّلالة على حجزها، ثُمَّ يُعاد ضَبط المُؤَقِّت بعد ذلك إلى القِيمة القُصوَى آليَّاً كُلَّما

---

[501] أَصل الاسمين على التَّرتيب Synchronization flag، اختصاراً SYN، وAcknowledgment flag، اختصاراً ACK، انظر تفاصيلهما في ص. 26-27 في [RFC793] في ثَبت المَراجِع.

[502] أَصل الاسمين على التَّرتيب Finish flag، اختصاراً FIN، وReset flag، اختصاراً RST، انظر ص. 38، 79، 81 في [RFC793] في ثَبت المَراجِع، والإنهاء الاعتياديُّ Normal close والإنهاء المُتزامِن Simultaneous close. انظر ص. 39 في المَرجِع السَّابِق.

[503] انظر [RFC5382] في ثَبت المَراجِع.

[504] انظر ص. 11 في [RFC5382] في ثَبت المَراجِع.

[505] أَصل الاسم Simultaneous initiation.

[506] لِلمزيد حول هذا الشَّأن، انظر ص. 6 في [RFC5382] في ثَبت المَراجِع.

[507] انظر هذا التَّعريف في ص. 400 [BKE01] في ثَبت المَراجِع، وانظر مِعيار البروتوكول في [RFC768].

اِستقبل المُوجِّه المُترجِم رِزمةً جديدةً ضِمن الجلسة نفسِها، فإذا نَفِد المُؤَقِّت ولم تُستقبَل أيُّ رِزمةٍ، عدَّ المُوجِّه أنَّ الاتِّصال مَقطُوعٌ، وحَرَّر ثُنائِيَّة المُعرِّفات المُستخدَمة في التَّرجمة.[508]

تُوجَد أيضاً مُشكِلةٌ مُرتبِطةٌ بعمليَّة تقطيع رِزم البيانات، فالقِطع النَّاتِجة، كُلُّها ما خلا الأُولَى، لا تَحتوِي ترويسة بُروتُوكُول النَّقل، لا يُمكِن وبسبب ذلك إجراء عمليَّة ترجمة أَرقام المنافذ ما لم يُعاد تجميع رِزمة البيانات الأَصيلة كامِلةً. في هذه الحالة، لو أَخفَق تجميع الرِّزمة الأَصيلة، فإِنَّ المُوجِّه المُترجِم يَتخلَّص مِن الرِّزمة مِن غير إجراء عمليَّة التَّرجمة، وتَحصُل هذه المُشكِلة نفسُها لو اُستخدم بُروتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل بصفته بُرُتُوكُول نقلٍ بدلاً عن بُروتُوكُول حِزم بيانات المُستخدِم.[509]

بُروتُوكُولات أُخرى

نُوجَد بُروتُوكُولات نقلٍ أُخرَى مُستعمَلةٌ في شَبكات البيانات وهي أَقلُّ شُيُوعاً مِن البرُوتُوكُولين السَّابِقين، مِنها مثلاً بُروتُوكُول التَّحكُّم بازدحام حِزم البيانات المَوصُوف بوثيقة طَلب التَّعليقات RFC 4340.[510] تَصِف الوثيقة RFC 5597 المُتطلِّبات السُّلُوكيَّة اللَّازِمة لاستعمال ترجمة عنوان الشَّبكة معه.[511]

أَمَّا بُروتُوكُول التَّحكُّم بتدفُّق النَّقل[512] فهُو بُروتُوكُول نقلٍ طُوِّر أَساساً لِنقل رسائِل تَّأشير شَبكات الهاتِف العامَّة[513] عبر شَبكةٍ مُعنوَنةٍ ببرُوتُوكُول الإنترنِت، وله تطبيقاتٌ أُخرَى في مَجال نقل الصُّوت باستعمال بُروتُوكُول الإنترنِت،[514] وهُو مَوصُوف بالوثيقة RFC 4960. لا يُوجَد وثيقة طَلب تعليقاتٍ تَصِف المُتطلِّبات السُّلُوكيَّة لِاستعمال ترجمة عُنوان الشَّبكة معه، ولكن صِيغت مُسوَّدة لِوثيقةٍ في سنة 2009م، ولم يَجرِ تبنِّيها لِتُصبح مِعياراً رسميَّاً.[515]

مُشكِلاتٌ في التَّنفيذ

- تقطيع رِزم البيانات: إذا قُطِّعت رِزم البيانات، فإِنَّ ترويسة بُروتُوكُول النَّقل ستَكُون في القِطعة الأُولَى فقط، ويُسبِّب هذا مُشكلاتٍ في مُراقبة الجلسة إذا كان بُروتُوكُول النَّقل هُو بُروتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل، لِأَنَّ الأَعلام الَّتي ستُراقَب ستَكُون في القِطعة الأُولَى فقط. بالإِضافة لِذلك، أيَّاً كان بُروتُوكُول النَّقل المُستعمَل، لا يُمكِن تنفيذ

[508] قد تَتَنوَّع قِيمة مُؤَقِّت الانتظار تنوعاً كبيراً وَفقاً لِلتَّطبيق الَّذي يُنفِّذ ترجمة عُنوان الشَّبكة، ولكنَّ التَّوصيات المِعياريَّة تُشير إلى استحسان أَلَّا تَقِلَّ هذه المُدَّة عن دقيقتين، وتُحبِّذ قِيمة 5 دقائِقَ لها، لِلمزيد في هذ الشَّأن انظر ص. 12 في [RFC4787] في ثَبت المَراجِع.

[509] انظر ص. 19 في [RFC8085] في ثَبت المَراجِع.

[510] أَصل الاسم Datagram Congestion Control Protocol، اختصاراً DCCP، انظره في [RFC4340] في ثَبت المَراجِع.

[511] انظر في [RFC5597] في ثَبت المَراجِع.

[512] أَصل الاسم Stream Control Transmission Protocol، اختصاراً SCTP، انظره في [RFC4960] في ثَبت المَراجِع.

[513] أَصل الاسمين: الرَّسائِل Signaling messages وشَبكة الهاتِف Public Switched Telephone Network، اختصاراً PSTN.

[514] أَصل الاسم Voice over Internet Protocol، اختصاراً VoIP.

[515] انظر [WEB29] في ثَبت المَراجِع.

ترجمة أَرقام المنافذ في حال التَّقطيع، فالقِطع النَّاتِجة كُلُّها، ما خلا القِطعة الأُولَى، لا تَحتوِي أَرقام المنافذ كما تَقدَّم.[516]

- الاستعمال مع برُوتُوكُول نقل الملفَّات:[517] يُستعمَل برُوتُوكُول نقل الملفَّات في أَوامره التَّرميز المِعياري الأَمريكيّ لِتبادل المَعلُومات، المَعرُوف اختصاراً بالاسم الرَّمزيّ آسكِي،[518] بمَعنَى أَنَّ ترميز العَدَد لا يَكُون وَفقاً لِقِيمته، بل وفقاً لِعَدَد الأَرقام الَّذي يُشكِّله، أَي تُرمَّز الأَعداد 0 و9 مثلاً برمزٍ واحِدٍ، و10 و50 و99 برمزين، و100 و500 و999 بثلاثة رُموزٍ. تَحصُل المُشكِلة عندما يَتغيَّر طُول العُنوان المُستعمَل في أَمر برُوتُوكُول نقل الملفَّات فمثلاً تُرمَّز قِيم خانات العُنوان: 10.0.0.1 باستعمال خمسة محارفَ مُرمَّزةٍ بترميز آسكِي، هُم واحِدان وثلاثة أَصفارٍ، بينما تُرمَّز قِيم خانات العُنوان 200.100.10.1 باستعمال تِسعة محارفَ هُم اثنين وحيدةٌ وثلاثة وِحدانٍ وخمسة أَصفارٍ. ويُسبِّب هذا التَّغيُّر في الطُّول إزاحةً في مَواقِع قِيم التَّرويسات التَّالِية فتَضطَّرب عمليَّة تحديد حُقُول التَّرويسة. ويَلزَم لِحَلِّ هذه المُشكِلة تحديث ترويسة برُوتُوكُول نقل الملفَّات بعد إجراء التَّرجمة لِتَعكِس التَّغيير الحاصِل في رزمة البيانات المُترجَمة.[519]
- التَّطبيقات المُعتمِدة على المُعرِّفات المُترجَمة: تُوجَد مَجمُوعةٌ مِن التَّطبيقات اللَّاتي يَعتمِد عملها على عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت أَو أَرقام المنافذ أو اللَّاتي تَحتوِيهما في مَوقِعٍ ما مِن ترويستها. سيُسبِّب تبديل العُنوان في أَثناء عمليَّة التَّرجمة مُشكِلةً في عمل التَّطبيق، ويَلزَم لِحَلِّها إجراء عمليَّة التَّبديل نفسِها في ترويسة برُوتُوكُول التَّطبيق أَيضاً، ولِإنجاز ذلك تُستخدَم تطبيقاتٌ خاصَّةٌ تُهيَّأ في المُوجِّه المُترجِم، وتُسمَّى الواحِدة مِنها البوَّابة عند مُستوَى التَّطبيق.[520] طُرِح حَلٌّ آخرُ لِهذه المُشكِلة وهُو تخطِّي التَّرجمة[521] ويَشمُل عمل تطبيقٍ في المُضيفِين لِلحُصُول على مُعرِّفات الطَّرف الآخر البعيد الَّذي يُراد الاتِّصال معه، ثُمَّ إجراء التَّبديل اللَّازِم في ترويسة برُوتُوكُول التَّطبيق في المُضيف المَصدَر قبل إرسال الرِّزمة الَّتي ستَجرِي ترجمتها. طُوِّرت مَجمُوعةٌ مِن البرُوتُوكُولات الَّتي تَتَبنَّى هذا الحَلَّ أَو شَكلاً مُشتقَّاً عنه، أَشهرها: برُوتُوكُول خِدمات تخطِّي جلسة ترجمة عُنوان الشَّبكة، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 5389،[522] وبرُوتُوكُول تخطِّي التَّرجمة باستعمال المُرحِّلات، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 5766.[523]

---

516 لِلمزيد حول هذا الشَّأن انظر ص. 309 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

517 أَصل الاسم File Transfer Protocol، اختصاراً FTP، انظر ص. 29 في [RFC959] في ثَبت المَراجِع.

518 أَصل الاسم American Standard Code for Information Interchange، اختصاراً ASCII، وهُو ترميزٌ مِعياريٌّ لِلمَحارِف، سُباعي البتات، طُوِّر في عام 1963م بدعمٍ مِن المَعهد الأَمريكيِّ لِلمعايير الوطنيَّة American National Standards Institute، المَعرُوف اختصاراً بالاسم الرَّمزيّ ANSI، لِغرض تبادُل المَعلُومات في الاتِّصالات الإلكترونيَّة، ونُشِر تحت الاسم الرَّمزيّ X3.4-1963، انظر [STD09] في ثَبت المَراجِع.

519 انظر نِقاشاً مُوسَّعاً حول هذه المُشكِلة في ص. 25-26 في [RFC2663] في ثَبت المَراجِع.

520 أَصل الاسم Application-Level Gateway، اختصاراً ALG، انظر ص. 6 في [RFC2663] في ثَبت المَراجِع.

521 أَصل الاسم NAT Traversal، للمزيد حوله انظر ص. 316 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

522 أَصل الاسم Session Traversal Utilities for NAT، اختصاراً STUN، انظره في [RFC5389] في ثَبت المَراجِع.

523 أَصل الاسم Traversal Using Relays around NAT، اختصاراً TURN، انظره في [RFC5766] في ثَبت المَراجِع.

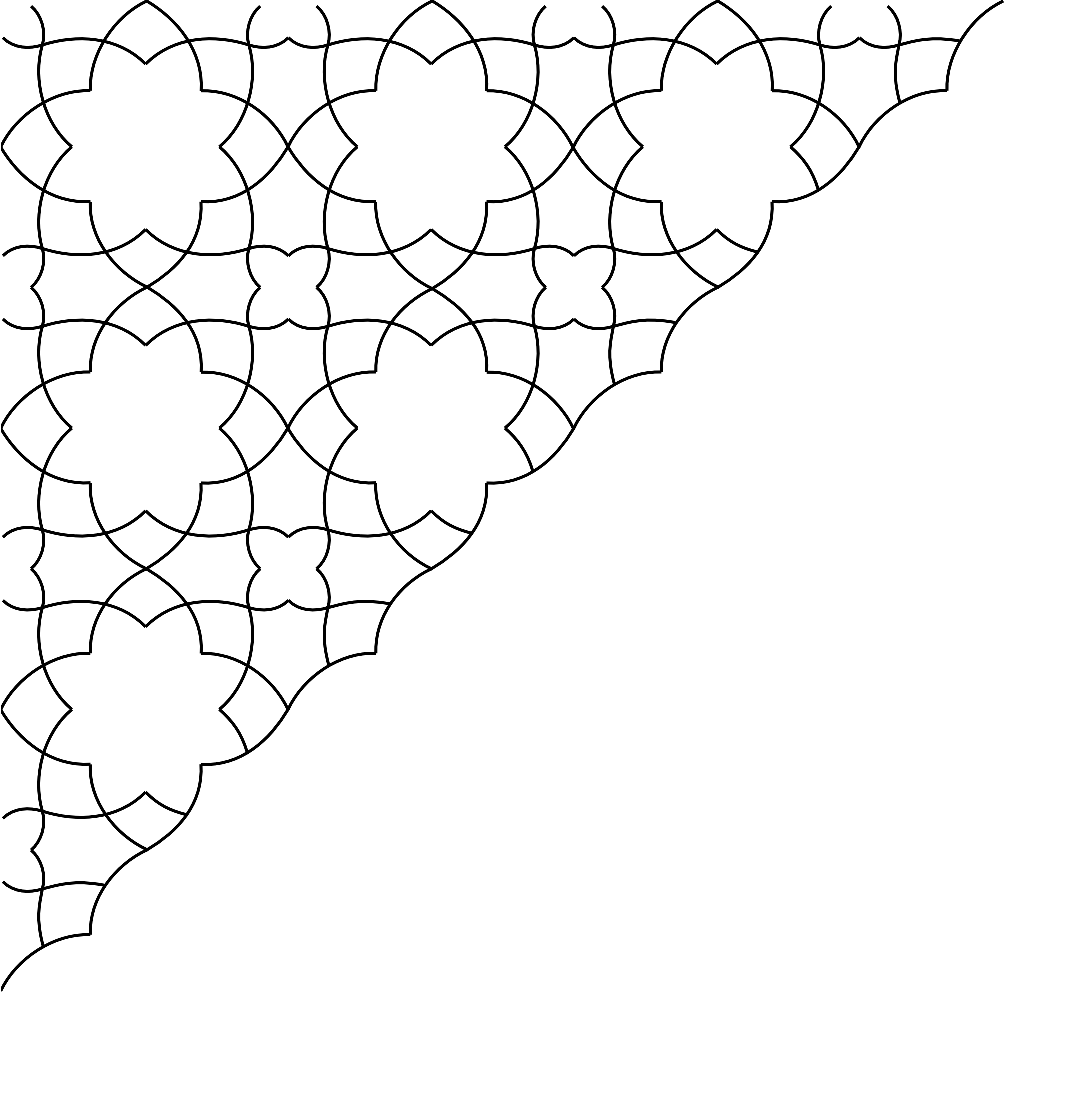
- الحاجة لِإعادة الحِساب: تَتَطلَّب ترجمة عُنوان الشَّبكة حوسبةً وقُدرات مُعالجةٍ مَلحُوظةً، فمِن أَجل كُلِّ رِزمةٍ تُترجَم، تُوجَد حاجةٌ لِإعادة حساب كُلِّ تَحقُّقٍ جمعيٍّ يُغطِّي الحُقُول الَّتي عُدِّلت، وقد يُسبِّب هذا أَيضاً زيادةً في الزَّمن اللَّازِم لِمُعالَجة الرِّزمة وبالتَّالِي تَأخيراً في عمليَّة التَّوجيه.

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب

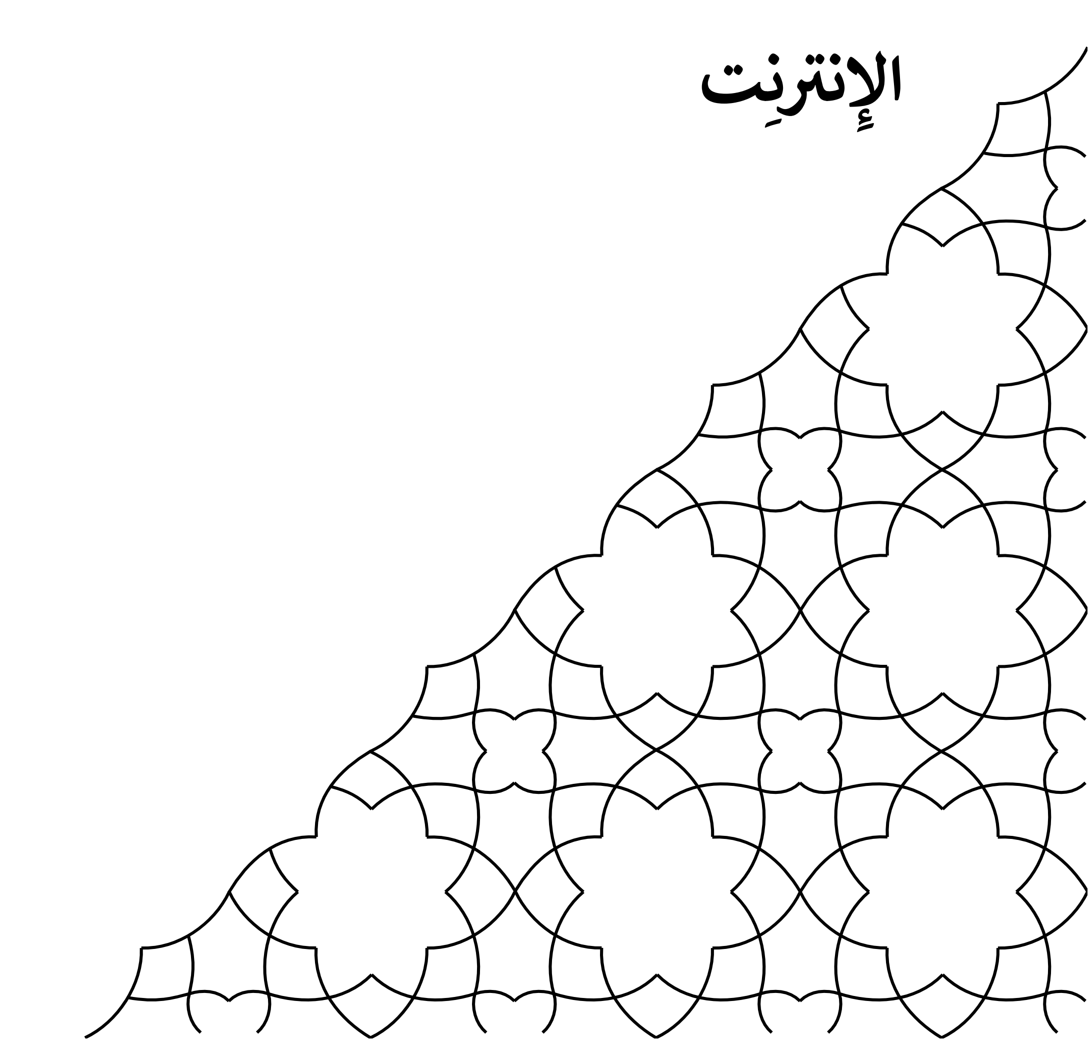


الباب الرَّابِع: الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت ومُلحَقاته

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



الفصل العاشِر: الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت



مُقدِّمةٌ

الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[524] هُو برُوتُوكُول تشبيكٍ يَعمَل في طَبقة الشَّبكة وَفقاً لِنَموذج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، يُستعمَل لِتقديم وظائِف العنونة والتَّقطيع وإِدارة حركة البيانات. طُوِّر الإصدار السَّادِس في عام 1995م على يد مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت بصفته حَلّاً نهائِيّاً لِمُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

يُعرِّف البرُوتُوكُول ترويسةً ثابِتة الطُّول فيها أَربعون بَايتاً، تُضاف إِلى رِزم البيانات الَّتي يُنشِئُها كُلِّها، ويُوجَد أَيضاً مَجمُوعةٌ مِن ترويسات التَّوسِعة الَّتي يُمكِن استخدامها اختيارِيّاً وَفقاً لِلحاجة عند أَداء الوظائِف نحو التَّقطيع، ويُمكِن أَن تَحتوِي رِزمة بيانات الإصدار السَّادِس على أَكثر مِن ترويسة توسِعةٍ تَلِي ترويسة البرُوتُوكُول.

يُعرِّف البرُوتُوكُول فضاءً مِن العناوين يَضمُّ قرابة $3.4\ x\ 10^{38}$ عُنواناً، طُول كُلٍّ مِنها 128 بِتاً. يُقسَّم الفضاء رِياضيّاً إِلى فضاءَين جُزئِيين هُما فضاء البثِّ فريد الوِجهة وفضاء البثِّ المَجمُوعاتِيِّ، وتُدير هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة كلا الفضاءَين. يَدعَم البرُوتُوكُول ثلاثة أَنماطٍ مِن العنونة هُنَّ العنونة فريدة الوِجهة وعنونة البثِّ نحو الأَقرب وعنونة البثِّ المَجمُوعاتِيِّ، ولا يَدعَم البثَّ العامَّ.

تَصِف مُحدِّدات البرُوتُوكُول آليَّةً لِلتَّقطيع في مَصادِر رِزم البيانات فقط، وذلك لِأَنَّ البرُوتُوكُول يَدعَم أَيضاً آليَّةً لِاكتشاف قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى لِمَسار رِزمة بياناتٍ ما قبل إِرسالها، فيَختار طُول رِزمةٍ مُتوافِقاً معه، وتنتفي الحاجة لِإِجراء التَّقطيع في عُقَد الشَّبكة المَوجُودة على المَسار كما هُو الحال في الإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول. يُعاد تجميع رِزمة البيانات الأَصيلة في الوِجهة النِّهائِيَّة، أَي يُعاد تشكيلها انطلاقاً مِن القِطع المُستقبَلة.

يَدعَم الإصدار السَّادِس أَيضاً آليَّتين لِإدارة حركة البيانات في الشَّبكة. الآليَّة الأُولَى هي تعريف تدفُّقاتٍ لِرِزم البيانات، وهي طريقةٌ لِتحديد مَجمُوعةٍ مِن الرِّزم المُرسَلة مِن مَصدَرٍ مُحدَّدٍ إِلى وِجهةٍ مُحدَّدة، ويُستعمَل لِأَجل ذلك حَقلٌ مُخصَّصٌ في ترويسة البرُوتُوكُول. أَمَّا الآليَّة الأُخرَى فهي دعم مُستوَياتٍ مُتعدِّدةٍ لِجُودة الخِدمة في الشَّبكة، ثُمَّ تحديد المُستوَى المَطلُوب لِكُلِّ رِزمةٍ باستعمال حَقلٍ مُخصَّصٍ لِذلك في ترويسة البرُوتُوكُول. في كلتا الآليَّتين، لا يُحدِّد البرُوتُوكُول كيفيَّة مُعالَجة الرِّزم تحديداً تفصيليّاً، ولكنَّه يَشرَح كيفيَّة تمييز بَعضِها مِن بعضٍ في المَرحَلة الَّتي تَسبِق مُعالَجتها.

يَنشَأ عن استعمال الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مَجمُوعةٌ مِن ثغرات الأَمن الَّتي قد تَكُون مُنطَلَقاً لِمَجمُوعةٍ مِن الهَجمات، بعضُها مُرتبِطٍ بالتَّقطيع نحو هُجُوم القِطعة الصَّغيرة أَو هُجُوم القِطع المُتراكِبة، وبعضُها مُرتبِطٌ بإِدارة حركة رِزم البيانات مِثل هُجُوم سرقة الخِدمة.

نبذةٌ تاريخيَّةٌ

اِبتدَأ نُمُوُّ شَبكات البيانات وانتشارها حول العالم مُنذ سبعينيَّات القرن العشرين، وكانت نُقطة الانطلاق مِن المَراكِز البحثيَّة والجامِعات في الولايات المُتَّحِدة الأَمريكيَّة، وسُمِّيت هذه الشَّبكة أَربَانِت في بداياتها. اعتمَدت أَربَانِت على مَجمُوعةٍ مِن

[524] أَصل الاسم Internet Protocol Version 6، اختصاراً IPv6.

البرُوتُوكُولات الَّتي طوَّرتها وَكالة مَشاريع البُحوث الدِّفاعيّة المُتقدِّمة، ومِنها الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَّذي اُستُخدِم لِعنونة المُعدَّات المُتَّصِلة مع الشَّبكة عنونةً فريدةً على المُستوَى العالَمي. اعتمَد الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، كما تَقدَّم في الفصل الثَّالِث، على فضاء عنونةٍ يَبلُغ طُول العُنوان فيه 32 بتاً، وقُسِّم هذا الفضاء إلى أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ سُمِّيت أَصنافاً، خُصِّصت ثلاثٌ مِنها لِعنونة البثِّ فريد الوِجهة، وهي الصَّنف A والصَّنف B والصَّنف C، وخُصِّص فضاءٌ جُزئِيٌّ رابِعٌ لِلبثِّ المَجمُوعاتيِّ، وسُمِّي الصَّنف D.

بَدَأ استخدام الإنترنِت تجاريَّاً في مَطلَع التِّسعينيَّات، وأَصبَح مِن الشَّائِع بعدها تقديم الخِدمات أَو بيع المُنتجات عبرها، وسببَّ هذا نُمُوَّاً سريعاً لِلشَّبكة خاصَّةً في الولايات المُتَّحِدة الأَمريكيَّة. وكما مرَّ في الفصل السَّابِع، فإنَّ مُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الصَّنف B أَصبحت داهِمةً، أَوَّلاً بسبب نُمُوِّ الشَّبكة السَّريع، وثانياً، لِأَنَّ نمط العنونة المُستعمَل سبَّب استهلاك فضاء العناوين استهلاكاً مُتسارِعاً وغير فعَّالٍ. لِذلك كان مِن المُتوقَّع استنفاد فضاء عناوين الصَّنف B بدءَاً مِن العام 1993م.

عُولِجت هذه المُشكِلة ضِمن إستراتيجيَّتين، تَشمُل الأُولَى حُلُولاً سريعة التَّطبيق قصيرة الأَمد، أَمَّا الأُخرَى، فتُعنَى بحَلٍّ نِهائِيٍّ دائِمٍ طويل الأَمد. طُوِّر التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات في إطار الإستراتيجيَّة الأُولَى في العام 1992م، وقد دُرِس في الفصل الثَّامِن مِن الكِتاب، وطُوِّرت أَيضاً تقنيَّة ترجمة عُنوان الشَّبكة في العام 1994م، وقد تَناولناها بالتَّفصيل في الفصل التَّاسِع. نَجَحت حُلُول الإستراتيجيَّة قصيرة الأَمد في إطالة عمر الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مِن خلال إبطاء استنفاد الفضاء.

أَمَّا في ما يَخصُّ الإستراتيجيَّة طويلة الأَمد، فقد بَدَأت مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت في العمل مُنذ مَطلَع التِّسعينيَّات على تطوير إصدارٍ جديدٍ مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. كان التَّوجُّه العامُّ في سنة 1993م، هُو طَرح نِظام عنونةٍ جديدٍ مُوسَّعٍ ضِمن إصدارٍ جديدٍ مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، لِذلك طَلَبت المَجمُوعة اقتراحاتٍ في هذا الشَّأن مع نِهاية تلك السَّنة.[525] شَكَّلت المَجمُوعة في تلك الفترة أَيضاً نِطاق عملٍ جديدٍ سمَّته الجيل التَّالِي مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[526]، وعَمِل فيه 15 مُهندِساً مِن اختصاصاتٍ مُتنوِّعةٍ على مُراجَعة ودراسة الاقتراحات لِصياغة حَلٍّ نِهائِيٍّ شامِلٍ.[527]

طُرِح المِعيار الأَوَّل لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت تحت الاسم الرَّمزِيِّ RFC 1883 في شهر دِيسمبَر مِن العام 1995م، وصَدَر معه أَيضاً المِعياران الأَوَّلان لِمُحدِّدات بِنية العناوين في الإصدار السَّادِس ولِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس، وحَمَلت وثائِق طَلب التَّعليقات الخاصَّة بهما الاسمان الرَّمزِيَّان RFC 1884 وRFC 1885 على التَّرتيب.[528] ستُناقَش بِنية العناوين في ما سيَأتي في هذا الفصل، في حين خُصِّص الفصل الحادِي عَشر مِن هذا الكِتاب لِمُناقشة برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس سالِف الذِّكر. صَدَر المِعياران الأَوَّلان لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران ولِآلِيَّة تهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآلِيَّة الَّتي ستُناقَش في ما سيَأتي في هذا الفصل لاحِقاً في شهر أَغسطس مِن العام التَّالِي، وحَمَل

[525] انظر [RFC1550] في ثَبت المَراجِع.

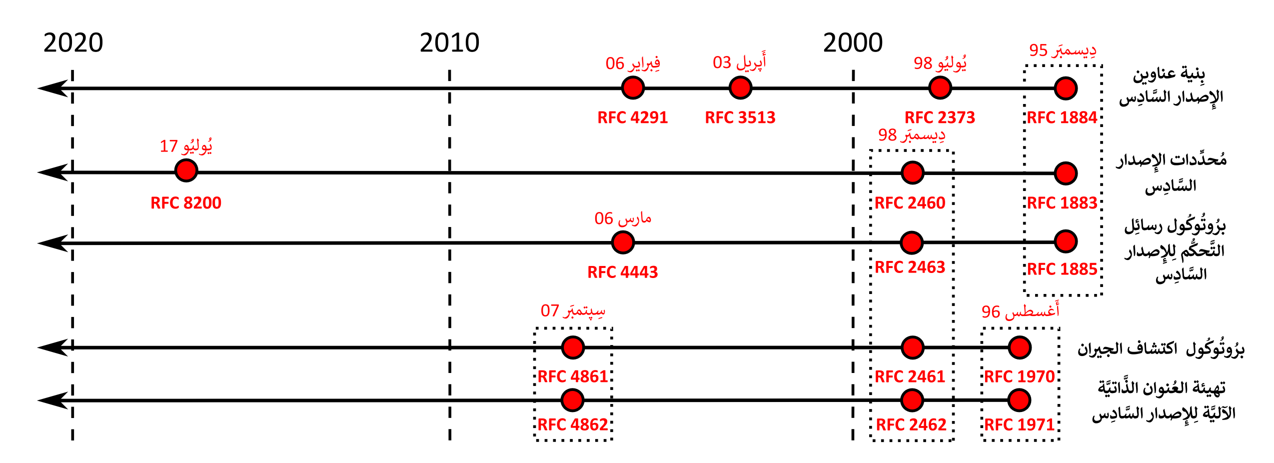
[526] أَصل الاسم IP Next Generation، اختصاراً IPng، انظر ص. 2 في [RFC1752] في ثَبت المَراجِع.

[527] انظر ص. 45 في [RFC1752] في ثَبت المَراجِع.

[528] انظر هذه المعايير الثَّلاثة في [RFC1883] و[RFC1884] و[RFC1885] في ثَبت المَراجِع.

المِعياران الاسمين الرَّمزيّين RFC 1970 وRFC 1971 على التَّرتيب.[529] أمَّا برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، فقد خُصِّص الفصل الثَّاني عَشر مِن هذا الكِتاب لِمُناقشته.

صَدَرت مَجمُوعة تحديثاتٍ جديدةٍ في دِيسمبر مِن العام 1998م تضمَّنت أربع وثائِق طَلب تعليقاتٍ تَمتدُّ أسماؤُها الرَّمزيَّة مِن RFC 2460 حتَّى RFC 2463،[530] وشَمَلت معاييرَ جديدةً لِلإصدار السَّادِس ولِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم الخاصِّ به ولِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران ولِآليَّة تهيئَة العنوان الذَّاتيَّة الآليَّة. واستمرَّت التَّحديثات بالصُّدور مُنفصِلةً أو ضِمن مَجمُوعاتٍ، فصَدَرت ثلاث معاييرَ مُتتابِعةٍ لِبنية عناوين الإصدار السَّادِس، آخرها في فِبراير مِن العام 2006م، وحَمَل الاسم الرَّمزيَّ RFC 4291.[531] صَدَر أيضاً مِعيارٌ ثالِثٌ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس في مَارس مِن العام 2006م، وحَمَل الاسم الرَّمزيَّ RFC 4443. وصَدَر ثالِثاً زوجان مِن المعايير أحدهما لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران والآخر لِتهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآليَّة في فِبراير 2007م وحَمَلا الاسمين الرَّمزيّين على RFC 4861 وRFC 4862 على التَّرتيب. وأخيراً صَدَر المِعيار الحالي لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في يُونيُو مِن العام 2017م وحَمَل الاسم الرَّمزيَّ RFC 8200. ويُبيِّن الشَّكل (10-1) الخطَّ الزَّمنيَّ لِلإصدارات السَّابِقة كُلِّها.



الشَّكل (10-1): خطٌّ زمنيٌّ لِلمعايير النَّاظِمة لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ولِلبرُوتُوكُولات الرَّديفة له

مَبدَأ العمل

الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت هُو برُوتُوكُول تشبيكٍ يَعمَل في طَبقة الشَّبكة في نَمُوذج الرَّبط البينيِّ لِلأنظمة المَفتُوحة، ويُشرِف على مهام العنونة وتقطيع رزم البيانات ويُساهِم في إدارة حركة البيانات في الإنترنِت. صُمِّم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِيَحلَّ مَحلَّ الإصدار الرَّابِع، ولِيُعالِج المُشكِلات النَّاجِمة عن استعماله والَّتي تَتلخَّص بفضاء عناوينَ مَحدُود الحجم وبِنية ترويسةٍ مُعقَّدةٍ ودَعمٍ مَحدُودٍ لِإمكانيَّة إضافة توسِعاتٍ جديدةٍ لِلأصل. بالإضافة لِمُعالَجة هذه المُشكِلات، فقد امتلك الإصدار السَّادِس إمكانيَّاتٍ جديدةٍ نحو إنشاء تدفُّقاتٍ مِن رزم البيانات وتمييزها بلافِتاتٍ

[529] انظر في [RFC1970] و[RFC1971] في ثَبت المَراجِع.

[530] انظرها في [RFC2460] و[RFC2461] و[RFC2462] و[RFC2463] في ثَبت المَراجِع.

[531] انظره في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

خاصَّةٍ تتيح إمكانيَّةً لِتقديم مُستوَياتٍ مُختلِفةٍ مِن جُودة الخِدمة، ونحو دَعم توسِعاتٍ جديدةٍ اختياريَّةٍ لِلمسائِل الأَمنيَّة تَشمُل دَعم المُصادَقة وخصوصيَّة البيانات.[532]

يُقدِّم الإصدار السَّادِس، كما الإصدار الرَّابِع، خِدمتي العنونة والتَّقطيع. في ما يَخصُّ العنونة فإنَّ البرُوتُوكُول يُعرِّف فضاء عناوينَ يَضمُّ 2^{128} عُنواناً، ويَدعَم ثلاثة أنماطٍ: هي عنونة البثِّ فريد الوِجهة وعنونة البثِّ المَجمُوعاتيِّ وعنونة البثِّ نحو الأَقرب، أَمَّا البثُّ العامُّ فهُو غير مَدعُومٍ.[533]

في ما يَخصُّ التَّقطيع، يُقطِّع البرُوتُوكُول رِزم بيانات الإصدار السَّادِس في مَصدَرها فقط، ويُعيد تجميع القِطع في وِجهتها النِّهائِيَّة فقط، ولا حاجة لِتقطيع رِزم البيانات في أَثناء عُبُورها المَسار لِامتلاك مَصدَر الرِّزم آليَّةً لِلتَّعرُّف على قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى لِلمَسار قبل البدء بالإرسال، ما يَسمَح له باختيار القِيمة المُناسِبة وتقطيع رِزمة البيانات على أَساسها.[534]

أَمَّا في ما يَخَصُّ إدارة حركة البيانات، فيَدعَم البرُوتُوكُول آليَّتين مُنفصِلتين هُما الإدارة باستعمال تدفُّق البيانات والإدارة باستعمال نوع الخِدمة. في ما يَخصُّ إنشاء تدفُّقات رِزم البيانات، فهِي آليَّةٌ يَدعَمها البرُوتُوكُول تَسمَح بتعريف مَجمُوعةٍ مُحدَّدةٍ مِن رِزم البيانات الَّتي تُنقَل بين مَصدَرٍ لِرزم البيانات ووِجهةٍ واحِدةٍ لها على الأَقلِّ. وتُعرِّف هذه الآليَّة التَّدفُّق بأَنَّه مَجمُوعة كُلِّ رِزم البيانات الَّتي تَنتَقِل في اتِّجاهٍ واحِدٍ عبر قناة اتصالٍ مُحدَّدةٍ. ولا يَلزَم أَن يَكُون المُضيف الوِجهة فريداً فيُمكِن لِهذه الآليَّة أَن تَدعَم بالإضافة لِرزم البثِّ فريد الوِجهة رِزمَ البثِّ المَجمُوعاتيِّ ورِزم البثِّ نحو الأَقرب. تُساعِد عمليَّة إنشاء تدفُّقات الرِّزم على تصنيف حركة البيانات وتقديم الخِدمة المُناسِبة لها اعتماداً على ترويسة برُوتُوكُول الإصدار السَّادِس فقط من غير الحاجة لِترويسات الطَّبقات العُليا.[535]

أَمَّا في ما يَخصُّ استعمال نوع الخِدمة، فهِي آليَّةٌ مُشابِهةٌ لِما طُبِّق في الإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول، وفيها يُستعمَل حَقل نوع الخِدمة لِتعريف أَصنافٍ مُختلِفةٍ مِن الخِدمات حسب الحاجة، ويُصار بعدها إلى مُعالَجة كُلِّ رِزمةٍ وتقديم الخِدمات إليها وَفقاً لِقيمة هذا الحَقل فيها.[536]

تُعرِّف مُحدِّدات البرُوتُوكُول، بالإضافة لما سَبق، المُصطلَحات التَّالِية، وتَستخدِمها وثائِق طَلب التَّعليقات ذات الصِّلة:[537]

- عُنوان البرُوتُوكُول: مُعرِّفٌ رقميٌّ يَخَصُّ طَبقة الشَّبكة يُمكِن أَن يُمنَح لِمنفَذٍ واحِدٍ أَو لِمَنافِذَ مُتعدِّدةٍ معاً.
- العُقدة:[538] أَيُّ جِهازٍ يَستعمِل البرُوتُوكُول في الشَّبكة.

[532] انظر ص. 4 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[533] انظر ص. 2-3 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[534] انظر [RFC8201] في ثَبت المَراجِع.

[535] انظر ص. 1، 3 في [RFC6437] في ثَبت المَراجِع.

[536] انظر ص. 1-2 في [RFC2474] في ثَبت المَراجِع.

[537] انظر ص. 5 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[538] أَصل الاسم Node، ووَرَدت هذه الكلِمة في أَوَّل مِعيارٍ للإصدار السَّادِس (ص.3 في [RFC1883] في ثَبت المَراجِع)، ولم تَكُن مُستعمَلةً قبلاً في مِعيار الإصدار الرَّابِع الَّذي استَعمَل كلِمة مُضيفٍ حَصراً.

- المُوجِّه:[539] هُو عُقدةٌ تُنجِز عمليَّة توجيه رِزم بياناتٍ لم تُولِّدها، لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.
- المُضيف: هُو أيُّ عُقدةٍ ما خلا المُوجِّهات.
- الوَصلة: وَسط اتصالٍ على مُستوَى طَبقة الوَصلة، يُمكِن لِلعُقَد أن تَتَواصل بعضُها مع بعضٍ عبرها.
- الجيران:[540] بالنِّسبة لِعُقدةٍ ما مُتَّصِلةٍ مع وصلةٍ واحِدةٍ أو أكثر، فإنَّ الجيران هُم العُقَد الَّلاتي يَتَّصِلن مع تلك الوَصلة أو الوَصلات.

ترويسات البرُوتُوكُول

تتابُع التَّرويسات

يُضيف الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ترويسةً خاصَّةً به في عمليَّة التَّغليف عند إنشاء رِزمة البيانات، وطُول هذه التَّرويسة ثابِتٌ، وهُو 40 بايتاً دائِماً.[541] يُمكِن أيضاً أن تُضاف مَعلُوماتٌ أُخرى تخصُّ طَبقة الشَّبكة في ترويسات خاصَّةٍ تُسمَّى ترويسات التَّوسِعة، وهي تُضاف إضافةً اختياريَّةً بعد ترويسة برُوتُوكُول الإصدار السَّادِس، وقبل ترويسات برُوتُوكُولات الطَّبقات العُليا. ولِترويسات التَّوسِعة أنواعٌ هي: ترويسة خِيارات المَسار وترويسة القِطعة وترويسة خِيارات الوِجهة وترويسة التَّوجيه وترويسة المُصادَقة وترويسة تأمين الحُمُولة بالتَّغليف.[542]

يُمكِن إنشاء تتابُعٍ مِن التَّرويسات، ولِكُلِّ نوع ترويسةٍ مُعرِّفٌ مُحدَّدٌ، وتَحتوِي التَّرويسات كُلُّها، بما في ذلك ترويسة الإصدار السَّادِس، حَقلاً مُخصَّصاً لِقِيمة مُعرِّف نوع التَّرويسة التَّالِية في التَّتابُع، وفيه تُشير قِيمة حَقل المُعرِّف في كُلِّ ترويسةٍ إلى نوع التَّرويسة التَّالِية، في حين تُخصَّص القيمة 59 لِلإشارة إلى غياب ترويسةٍ تالِيةٍ وتُستعمَل في التَّرويسة المَوجُودة في نِهاية التَّتابُع. تَضبُط هيئَة أرقام الإنترنِت المُخصَّصة القِيم المِعياريَّة لِمُعرِّفات أنواع التَّرويسة.[543] وإذا وَرَدت ترويساتٌ عديدةٌ معاً (الشَّكل (10-2))، فتَكُون بالتَّرتيب التَّالِي:[544]

1. ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت
2. ترويسة خِيارات المَسار
3. ترويسة خِيارات الوِجهة (لِلخيارات الَّتي ستُعالَج في الوِجهة الأُولَى على المَسار أو أي وِجهةٍ وسيطةٍ أُخرَى مُحدَّدةٍ بترويسة التَّوجيه ما خلا الوِجهة النِّهائِيَّة)

[539] أصل الاسم Router، ووَرَدت هذه الكِلمة منذ أوَّل مِعيارٍ لِلبرُوتُوكُول، انظر ص.3 في [RFC1883] في ثَبت المَراجِع، ولم تَكُن مُستعمَلةً قبلاً في مِعيار الإصدار الرَّابِع الَّذي استَعمَل كلمة بوَّابةٍ بدلاً عنها. قارِن بين المُصطلَحين بمُراجَعة ص. 21 وص. 42 في [RFC1392].

[540] أصل الاسم Neighbor، وتَعني جار، انظر ص. 763 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع.

[541] انظر ص. 7 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[542] انظر ص. 9 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[543] انظر سِجلَّ الهيئَة المُخصَّص لِمُحدِّدات الإصدار السَّادِس في [WEB30] في ثَبت المَراجِع.

[544] لا يُلزِم المِعيار مُنفِّذي البرُوتُوكُول اتباعَ التَّرتيب السَّابِق اتباعاً إلزاميّاً، ولكنَّه يَستحسِن ذلك، انظر ص. 10 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع. وانظر أيضاً بُنَى هذه التَّرويسات واستعمالها في المُلحَق و في هذا الكِتاب. أُصول الأسماء هي على التَّرتيب: Internet Protocol version6 وHop-by-Hop options وFragment وDestination options وRouting وAuthentication وEncapsulating Security Payload

4. ترويسة التَّوجيه
5. ترويسة القِطعة
6. ترويسة تَأمين الحُمُولة بالتَّغليف
7. ترويسة خِيارات الوِجهة (للخِيارات الَّتي ستُعالَج في الوِجهة النِّهائيَّة فقط)
8. ترويسات برُوتُوكُولات الطَّبقات العُليا

يَلزَم أَن يَكُون طُول ترويسة التَّوسِعة عَدَداً صحيحاً مِن مُضاعَفات 8 بايتات، أَي 16 و24 و32 ... إلخ، وهذا ضرُوريٌّ لِمُحاذَاة التَّرويسات المُتتابِعة. تَضمُّ بعضٌ مِن التَّرويسات عَدَداً مِن الخِيارات الَّتي يَكُون لها بِنيةٌ مُحدَّدةٌ أَيضاً فتَصطَّف وَفقها وتُحاذَى تلقائِيَّاً داخِل التَّرويسة.[545]

رِزمة بيانات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مِن غير أَي ترويسة توسِعة	ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَترويسة التَّالِية: برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل	ترويسة برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل + بيانات		
مع ترويسة التَّوجيه	ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَترويسة التَّالِية: ترويسة التَّوجيه	ترويسة التَّوجيه الَترويسة التَّالِية: برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل	ترويسة برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل + بيانات	
مع ترويستي التَّوجيه والقِطعة	ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَترويسة التَّالِية: ترويسة التَّوجيه	ترويسة التَّوجيه الَترويسة التَّالِية: ترويسة القِطعة	ترويسة القِطعة الَترويسة التَّالِية: برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل	ترويسة برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل + بيانات

الشَّكل (10-2): أَمثلةٌ مُتنوِّعةٌ عن تَتَابُع التَّرويسات في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

لا تُعالَج أَيُّ ترويسةٍ، ما خلا ترويسة خِيارات المَسار، في أَثناء عُبُور رِزمة البيانات لِلمَسار، ولا تُضاف أَيُّ ترويسةٍ لِلرِّزمة ولا تُحذَف مِنها، حتَّى تَبلُغ العُقدة المُحدَّدة بعُنوان الوِجهة في ترويسة البرُوتُوكُول.[546]

إنَّ وُجُود ترويسات التَّوسِعة في رِزمة بياناتٍ ما هُو مَسأَلةٌ اختياريَّةٌ، أَمَّا دعمها فهُو إلزاميٌّ في أَيِّ تنفيذٍ لِلإصدار السَّادِس مِن البرُوتُوكُول، ولكن يُوجَد ترويساتٌ أُخرَى مُعرَّفة لِأَغراضٍ خاصَّةٍ، ولا يَلزَم أَن تَكُون مَدعُومةً في كُلِّ تنفيذٍ لِلبرُوتُوكُول، مِنها على سبيل المِثال ترويسة خِيارات الحركة[547] وترويسة برُوتُوكُول هويَّة المُضيف[548].

[545] انظر ص. 9 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[546] في ما يَخصُّ مُحتوَيات ترويسة خِيارات الوِجهة، سواء كانت الوِجهة العُقدة الأُولَى على المَسار أَو عقداً وسيطةً عليه، فإنَّها تَخضَع لهذه القاعِدة أَيضاً. فإذا أُرسِلت الرِّزمة عبر مَسارٍ مُحدَّدٍ نحو وِجهتها النِّهائيَّة، فإنَّ عناوين الوِجهات الوسيطة المُتوقَّعة على طُول المِسار تَكُون مَوجُودةً في ترويسة التَّوجيه فيها، وتَكُون قِيمة حَقل عُنوان الوِجهة في ترويسة البرُوتُوكُول هي عُنوان الوِجهة الأُولَى. وعندما تَصِل الرِّزمة إلى الوِجهة الأُولَى، فإنَّ البرُوتُوكُول يُغيِّر قِيمة عُنوان الوِجهة، ويَضَع بدلاً مِنه العُنوان التَّالِي المَوجُود في ترويسة التَّوجيه. عمليَّاً، لم تُعالَج ترويسات التَّوسِعة في الرِّزمة حتَّى بَلغت الرِّزمة وِجهتها المُحدَّدة بِقيمة حَقل عُنوان الوِجهة في ترويسة البرُوتُوكُول.

[547] أَصل الاسم Mobility options، لِلمزيد في هذا الشَّأن انظر ص. 49 في [RFC6275] في ثَبت المَراجِع.

[548] أَصل الاسم Host Identity Protocol، اختصاراً HIP، لِلمزيد حوله انظر ص. 38 في [RFC7401] في ثَبت المَراجِع.

ترويسة البرُوتُوكُول

يَبلُغ طُول ترويسة الإصدار السَّادِس 40 بايتاً، وتَتكوَّن مِن ثمانية حُقُولٍ (الشَّكل (10-3))، هي وَفقاً لِترتيب وُرُودها:

- حَقل رقم الإصدار: طُوله 4 بِتاتٍ، يَحمِل رقم الإصدار، وقِيمته هي 6 دائِماً في ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.
- حَقل صَنف حركة البيانات: طُوله 8 بِتاتٍ، ويَحتوِي مُعرِّفاً رقميَّاً يُمكِن ضبطه لِتحديد جُودة الخِدمة الَّتي ستَحصُل عليها رِزمة البيانات.
- حَقل لافِتة التَّدفُّق: طُوله 20 بِتاً، ويَحتوِي مُعرِّفاً رقميَّاً يُحدِّد التَّدفُّق الَّذي تَنتمِي إليه رِزمة البيانات، ويُمكِن أَن تُستعمَل هذه القِيمة في تحديد كيفيَّة مُعالَجة الرِّزمة في المُوجِّهات في أَثناء عُبُورها المَسار نحو وِجهتها.
- حَقل طُول الحُمُولة: طُوله 16 بِتاً، ويَحتوِي عَدَداً صحيحاً مُوجِباً يُمثِّل طُول حُمُولة الرِّزمة الَّتي تُوجَد فيها التَّرويسة مُقدَّراً بالبايت، يَشمُل ذلك ترويسات التَّوسِعة الَّتي تَلِي ترويسة الإصدار السَّادِس كُلَّها.
- حَقل التَّرويسة التَّالية: طُوله 8 بِتاتٍ، ويُحدِّد نوع التَّرويسة التَّالِية، الَّتي تَلِي هذه التَّرويسة. إذا كانت التَّرويسة مُغايرةً لِترويسات التَّوسِعات، فإنَّ قِيم هذه الحَقل مُطابِقةٌ لِلقِيم المُستعمَلة في الإصدار الرَّابِع مِن البرُوتُوكُول.
- حَقل عَدَد القفزات: طُوله 8 بِتاتٍ، ويَحتوِي عَدَداً صحيحاً مُوجِباً. يُنقِص كُلُّ مُوجِّهٍ يُعالِج رِزمة البيانات ويُوجِّهها واحِداً مِن هذه القِيمة. يَفحَص كُلُّ مُوجِّهٍ يَستقبِل رِزمة البيانات قِيمة هذا الحَقل أَوَّلاً، فإذا كانت مُساوِيةً لِلصِّفر، فإنَّه يَتخلَّص مِن الرِّزمة، وتُستثنَى مِن ذلك الوِجهة النِّهائِيَّة لِلرِّزمة، فإذا اُستقبِلت رِزمةٌ بقِيمة صِفريَّةٍ في هذا الحَقل، فلا تَتَخلَّص مِنها بل تُعالِجها.
- حَقل عُنوان المَصدَر: طُوله 128 بِتاً، وهُو عُنوان العُقدة المَصدَر الَّتي ولَّدت رِزمة البيانات.
- حَقل عُنوان الوِجهة: طُوله 128 بِتاً، وفيه عُنوان وِجهة الرِّزمة. قد يَحتوِي عُنوان الوِجهة الأَخيرة، أَو عُنوان المُستقبِل التَّالِي لِلرِّزمة إذا كانت ترويسة التَّوجيه مَوجُودةً بعد ترويسة البرُوتُوكُول.

0 – 3	3 – 11	11 – 31
الإصدار	صِنف حركة البيانات	لافِتة التَّدفُّق

0 – 15	15 – 23	23 – 31
طُول الحُمُولة	التَّرويسة التَّالِية	عَدَد القفزات

0 – 31
عُنوان المَصدَر
عُنوان الوِجهة

الشَّكل (10-3): ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

الوظائِف

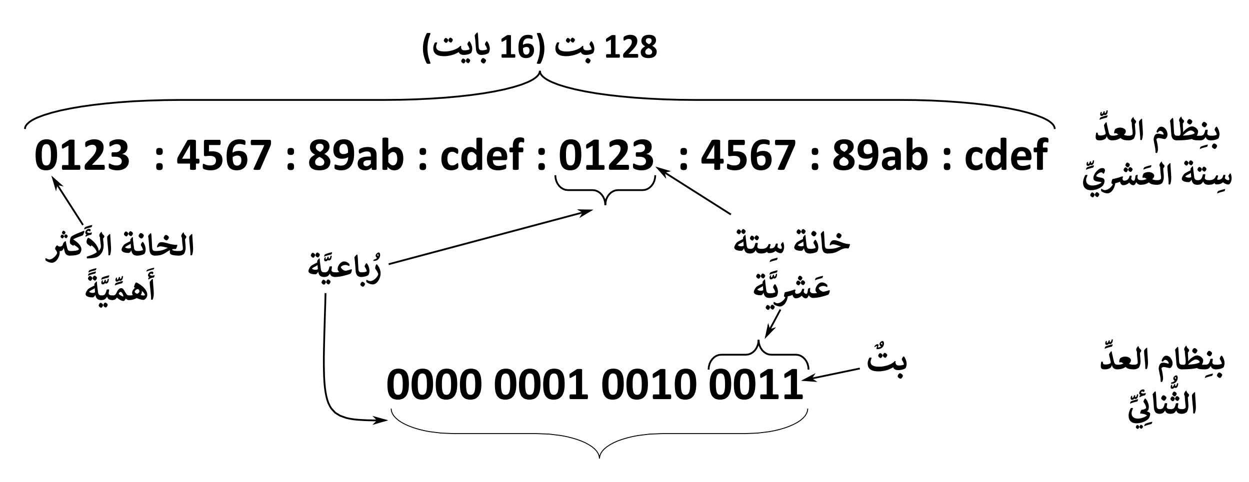
العنونة

تعاريفُ

تُعرِّف مُحدِّدات البرُوتُوكُول فضاءً لِلعناوين يَبلُغ طُول كُلِّ عُنوانٍ فيه 128 بِتاً، ومَعنَى ذلك أَن الفضاء يَضمُّ 2^{128} عُنواناً أي ما يُقارِب $3.4\ x\ 10^{38}$. تُمنَح عناوين الإصدار السَّادِس لِلمَنافِذ، لا لِلعُقَد، ويُمكِن لِلمَنفَذ أن يَستضِيف أكثر مِن عُنوانٍ في الوقت نفسِه، ويُمكِن أن يَكُون لِلعُقدة أكثرُ مِن مَنفَذٍ في الوقت ذاتِه.

يَدعَم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ثلاثة أَنماطٍ لِعَنونة المَنافِذ هي عنونة البثِّ فريد الوِجهة، وعنونة البثِّ المَجمُوعاتِيّ وعنونة البثِّ نحو الأَقرب،[549] ولا يَدعَم البرُوتُوكُول نمط عنونة البثِّ العامِّ.[550] في عنونة البثِّ فريد الوِجهة، يَستضِيف مَنفَذٌ ما عُنواناً فريداً، وتُوجَّه الرِّزم المُرسَلة نحو هذا العُنوان إلى المَنفَذ الَّذي يَستضِيفه. أَمَّا في عنونة البثِّ المَجمُوعاتِيِّ، فتَستضيف مَجمُوعةٌ مِن المَنافِذ عُنواناً ما في الوقت نفسِه، وتُوجَّه الرِّزم المُرسَلة نحو ذلك العُنوان إلى المَنافِذ الَّتي تَستضيفه كُلِّها. أَمَّا في عنونة البثِّ نحو الأَقرب، فتَستضِيف مَجمُوعةٌ مِن المَنافِذ عُنواناً ما في الوقت نفسِه، وتُوجَّه الرِّزم المُرسَلة نحو هذا العُنوان إلى أَقرب مَنفَذٍ يَستضِيفه.[551]

يَبلُغ طُول عُنوان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت 128 بتاً، ويَكُون البت الواقِع في أَقصَى اليسار هُو البت الأَكثر أَهمِّيَّةً (الشَّكل (10-4)). يُكتَب عُنوان الإصدار السَّادِس باستعمال نِظام العَدِّ سِتة العَشريِّ، وتُمثِّل كُلُّ 4 بتاتٍ مُتتالِيةٍ فيه بخانةٍ سِتة عَشريَّةٍ واحِدةٍ تَكُون قِيمتها وَفقاً لِلجدول (10-1).



الشَّكل (10-4): عَرضٌ لِلمُصطلَحات المُستعمَلة في عناوين الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

[549] أَصل الاسم Anycast، وقد عَرَّبناها إلى البثِّ نحو الأَقرب.

[550] انظر ص. 2-4 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[551] يَختلِف تفسير مَعنَى كلمة "أَقرب" باختلاف برُوتُوكُول التَّوجيه المُستعمَل، فلِكُلِّ برُوتُوكُول توجيهٍ آليَّةٌ مُحدَّدةٌ لِقياس وَزن المَسار، قد تَعتمِد على عَدَد القفزات اللَّازِمة لِبُلُوغ الوِجهة، أَو على مُعدَّل النَّقل في الوصلات الَّتي ستَعبُرها الرِّزمة أَو غير ذلك، ويَتحدَّد المَنفَذ الأقرب لِلمُوجِّه وَفقاً لِهذه الآليَّة.

الجدول (10-1): جدول تحويلٍ مُباشرٍ بين قِيم نِظامي العدِّ الثُّنائِيِّ وسِتة العَشرِيِّ

قِيمة البتات الأَربعة بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	القِيمة المُقابِلة بنِظام العدِّ سِتة العَشرِيِّ	قِيمة البتات الأَربعة بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	القِيمة المُقابِلة بنِظام العدِّ سِتة العَشرِيِّ
0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	a
0011	3	1011	b
0100	4	1100	c
0101	5	1101	d
0110	6	1110	e
0111	7	1111	f

التدوين الرِّياضيُّ

تُسمَّى كُلُّ أَربع خاناتٍ سِتة عَشرِيَّةٍ مُتتالِيةٍ رُباعِيَّةً،[552] ويَفصُل بين كُلِّ رِباعيَّتين مُتتالِيتين مِحرَف النُّقطتين الرَّأسِيَّتين، أي ":"، وتَكُون الرُّباعيَّة الواقِعة في أَقصَى اليسار هي الأَكثر أَهمِّيَّةً. مثلاً، العُنوان التَّالِي هُو مِثالٌ عن عُنوانٍ مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت:

0123:4567:89ab:cdef:0123:4567:89ab:cdef

في عناوين البثِّ فريد الوِجهة، يَتكوَّن كُلُّ عُنوانٍ مِن قِسمين، هُما مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المَنفَذ[553]. يَكُون مُعرِّف الفضاء مُشترَكاً بين العناوين كُلِّها الَّتِي تَنتمِي لِلفضاء الجُزئِيِّ نفسِه، أَمَّا مُعرِّف المَنفَذ فيَكُون مُميَّزاً لِكلِّ مَنفَذٍ على حِدة. يُشتَقُّ عُنوان البثِّ فريد الوِجهة انطلاقاً مِن بادِئةٍ ما، ويُستعمَل طُول تلك البادِئة لِرسم الحدِّ الفاصِل بين مُعرِّف الفضاء ومُعرِّف المَنفَذ. فإذا كان طُول بادِئةٍ ما 64 بتاً، فهذا يَعنِي أَنَّ مُعرِّف الفضاء يَمتدُّ امتداداً غير مُنقطِعٍ على أَربعٍ وستين بتاً مُتتابِعاً بدءاً مِن البت الأَكثر أَهمِّيَّةً، في حين يَمتدُّ مُعرِّف المَنفَذ على البتات الأَربعة والسِّتين المُتبقيَّة. تَصِف وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 5952 المُمارسات المُتَّبعة لِتمثيل عناوين الإصدار السَّادِس تمثيلاً سليماً، وتُلخِّص عَدَداً مِن المُشكِلات الَّتِي تَرتبِط بالمسأَلة مِثل حالة الحُرُوف الكبيرة أَو الصَّغيرة واستعمال النُّقطتين الرَّأسِيَّتين وتَطرح حُلُولاً لها.[554]

128 بت

128 - n بت | n بت

مُعرِّف المَنفَذ	مُعرِّف الفضاء

الشَّكل (10-5): البِنية العامَّة لِعُنوان بثٍّ فريد الوِجهة في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

[552] أَصل الاسم Quartet، لِتعريبها انظر ص. 946 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع. لا تَرِد هذه الكلِمة في مُحدِّدات البرُوتُوكُول، ولكنَّها شائِعةٌ في أَدبيَّات الشَّبكات لِوصف هذا المَفهُوم.

[553] أَصل الاسم Interface identifier.

[554] انظر ص. 2 في [RFC5952] في ثَبت المَراجِع.

تدوين العناوين والأَقنعة

يُمكِن تمثيل عُنوان الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت بثلاث طرائِقَ:[555]

- التَّدوين المُكتمِل: وفيه يُكتَب العُنوان كامِلاً بالشَّكل #:#:#:#:#:#:#:#، ويُمثِّل الرَّمز # أَربع مَراتِبَ سِتة عَشريَّةٍ. ومِثاله العُنوان:

0123:4567:89ab:cdef:0123:4567:89ab:cdef

- التَّدوين المُختصَر: وفيه تُختَصر أَجزاءٌ مِن العُنوان باتِّباع الخطوات التَّالِية على التَّرتيب (الجدول (10-2)):

1. إذا كانت المَرتَبة الأَكثر أَهمِّيَّةً في رُباعيَّةٍ ما صِفريَّةً لِوحدها أَو صِفريَّة مع أَكثر مِن مَرتبةٍ تالِيةٍ لها مِن غير انقطاعٍ، تُهمَل الأَصفار وتُسقَط مِن الكِتابة، أَي تُكتَب المَراتِب السِّتة عَشريَّة غير الصِّفريَّة فقط، فمثلاً الرُّباعيَّة: 0123 تُكتَب: 123، والرُّباعيَّة: 0011 تُكتَب: 11.
2. إذا كانت المَراتِب السِّتة عشرية في رُباعيَّةٍ ما كُلُّها صِفريَّة القِيمة، تُمثَّل الرُّباعيَّة بصِفرٍ واحِدةٍ، أَي الرُّباعيَّة: 0000، تُكتَب: 0.
3. إذا اِجتمعت أَكثرُ مِن رُباعيَّةٍ صِفريَّةٍ مُتتالِيةٍ، أَمكن اختزالها والتَّعويض عنها بمِحرَفي نُقطتين رَأسيَّتين مُتتالِيتين، أَي "::". فمَثلاً العُنوان: 1234:0:0:0:0:0:0:1111 يُكتَب اختصاراً: 1234::1111
4. إذا وُجِد أَكثر مِن تتابُع رباعيَّاتٍ صِفريَّةٍ في عُنوانٍ واحِدٍ، فلا يَجُوز اختزال إلا تتابُعٍ واحِدٍ مِنها فقط، ويُستحسَن أَن يَكُون الأَطول. فمثلاً العُنوان: 1234:0:0:0:2222:0:0:1111 يُكتَب اختصاراً: 1234::2222:0:0:1111 أَو 1234:0:0:0:2222::1111 ولا يُكتَب: 1234::2222::1111. وإِذا كان طُول التَّتابُعين مُتساوِياً، أَمكَن اختزال أَحدهما مِن غير تمييزٍ.

- التَّدوين المُختلَط: وهُو تمثيلٌ يُستعمَل في الشَّبكات الَّتي يَستضِيف فيها المُضيفُون عناوينَ مِن الإِصدارين: الرَّابِع والسَّادس معاً، ويَكُون العُنوان مِن الشَّكل d.d.d.d:#:#:#:#:#:#، وفيه يُمثِّل المِحرَف # رُباعيَّةً مُكوَّنةً مِن 4 خاناتٍ سِتة عشريَّةٍ غير صِفريَّةٍ، وتُطبَّق قواعدُ الاختصار عليه إذا وُجِدت خاناتٌ صِفريَّةٌ. أَمَّا المِحرَف d، فيُمثِّل خانةً مِن خانات عُنوان الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مَكتُوبةً بالتَّدوين العَشريِّ المُنقَّط، ومِثال هذا التَّمثيل العُنوان: 1111:0:0:0:0:0:200.100.10.1 الَّذي يُمكِن أَن يُكتَب بعد الاختصار بالشَّكل التَّالِي: 1111::200.100.10.1.

تدوين البادِئة

هُو طريقةٌ لِتمثيل فضاءٍ جُزئِيٍّ مِن الفضاء الكُلِّيِّ لِعناوين البرُوتُوكُول، وفيها تُمثَّل كُلُّ بادِئةٍ بعُنوانٍ يُسمَّى عُنوان البادِئة. يَتشابَه تمثيل البادِئات في الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مع تمثيلها في الإِصدار الرَّابِع، وهُو التَّمثيل الَّذي أُقِرَّ بعد اعتماد آليَّة التَّوجيه غير الصَّنفيِّ بين النِّطاقات الَّتي دُرِست في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

---

[555] انظر ص. 4-5 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع، وفيها لم تُذكَر أَسماءٌ لِطُرق التَّمثيل، وقد وُضِعنا الأَسماء العربيَّة لِتسهيل الاستعمال.

الجدول (10-2): أمثلةٌ عن اختصار عناوين الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

التَّدوين المُكتمِل	التَّدوين المُختصَر
2340:0000:0010:0100:1000:abcd:0101:1010	2340:0:10:100:1000:abcd:101:1010
30A0:abcd:ef12:3456:0ABC:B0B0:9999:9009	30A0:abcd:ef12:3456:ABC:B0B0:9999:9009
3210:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000	3210::
0000:0000:0000:0000:0000:0000:0000:1	::1
34ba:000b:000b:0000:0000:0000:0020	34ba:b:b::20

تَتكوَّن كُلُّ بادِئةٍ مِن جُزئين، هُما عُنوانٌ مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت وطُول البادِئة، أي عَدَد البتات فيها، ويَكُون شَكل البادِئة:

طُول البادِئة/عُنوان الإصدار السَّادِس

يُمكِن اختصار العُنوان المَوجُود في البادِئة وَفقاً لِقواعدِ اختصار عناوين الإصدار السَّادِس نفسِها. فمَثلاً، ما سيَأتي هُو أَمثلةٌ عن بادِئاتٍ مَكتُوبةٍ كتابةً صحيحةً:

1111:0000:0000:2222:0000:0000:0000:0000/64

1111:0:0:2222:0:0:0:0/64

1111:0:0:2222::/64

بُنَى العناوين وَفقاً لِنمط التَّوجيه

يُعرِّف الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت فضاءً يَضمُّ 2^{128} عُنواناً، ويَدعَم ثلاثة أنماطٍ مِن العنونة هي عنونة البثِّ فريد الوِجهة وعنونة البثِّ المَجمُوعاتيِّ وعنونة البثِّ نحو الأَقرب كما تَقدَّم.

يُخصَّص العُنوان الصِّفريُّ لِيَكُون العُنوان غير المُحدَّد ويُخصَّص العُنوان الَّذي يَليه لِيَكُون عُنوان الحلقة العكسيَّة، ويُخصَّص فضاءٌ مَحجُوزٌ لِلبثِّ المَجمُوعاتيِّ أيضاً، ويُحجَز فضاءٌ خاصٌّ لِعناوين البثِّ فريدة الوِجهة في الوَصلة المَحلِّيَّة، وفي ما خلا ذلك، فإنَّ ما تَبقَّى مُخصَّصٌ لِفضاء عناوين البثِّ فريد الوِجهة العالَميِّ (الجدول (10-3)).[556]

يَلزَم الانتباه إلى أَن عناوينَ البثِّ نحو الأَقرب تُقتَطع مِن أي فضاءٍ مِن عناوين البثِّ فريد الوِجهة، لِذلك لا يُمكِن التَّمييز بين عناوين الفضاءَين رقميّاً.

[556] انظر ص. 6 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

الجدول (10-3): أقسام فضاء عناوين الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

الاسم	البادِئة	طُول البادِئة [بت]	تدوين البادِئة
العُنوان غير المُحدَّد[557]	0 ... 00	128	::/128
عُنوان الحلقة العكسيَّة[558]	1 ... 00	128	::1/128
فضاء البثِّ المَجمُوعاتِيّ	11111111	8	ff00::/8
فضاء البثِّ فريد الوِجهة في الوَصلة المَحلِّيَّة	1111111010	10	fe80::/10
فضاء البثِّ فريد الوِجهة العالَمِيّ	سائِر الفضاء		

عناوين البثِّ فريد الوِجهة

هي العناوين الَّتي تُمّيز مَنفَذاً ما تمييزاً مُحدَّداً فريداً. إذا كان عُنوان وِجهة رِزمةٍ ما هُو عُنوان بثٍّ فريد الوِجهة، فستُوجَّه الرزمة نحو المَنفَذ الَّذي يَستضيف ذلك العُنوان. تَمتاز عناوين هذا الفضاء بإمكانيَّة تجميعها معاً باستعمال تدوين البادِئة كما هُو الحال عند تمثيل الأَفضية الجُزئيَّة في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

تُوجَد أنواعٌ عديدةٌ لِعناوين الفضاء فريد الوِجهة، هي:[559]

- العُنوان غير المُحدَّد: هُو العُنوان الصِّفريُّ، أي 0:0:0:0:0:0:0:0، اختصاراً ::. يُستعمَل لِلدَّلالة على عدم استضافة المَنفَذ لِعُنوانٍ مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول إنترنتٍ مع وُجُود دعمٍ لِلبرُوتُوكُول فيه، لِذلك لا يُمنَح هذا العُنوان لِأيِّ مَنفَذٍ، ولا يُستعمَل بصفته عُنوان وِجهةٍ لِرِزم البيانات، ويَلزَم أن تَتَخلَّص المُوجِّهات مِن أيِّ رِزمةٍ مُوجَّهةٍ نحو هذا العُنوان.
- عُنوان الحلقة العكسيَّة: وهُو العُنوان 0:0:0:0:0:0:0:1، اختصاراً 1::، ويُمكِن أن يُستخدَم مِن طَرف أيِّ عُقدةٍ لِإرسال رِزم بياناتٍ إلى نفسِها، لِذلك لا يُمنَح هذا العُنوان لِأيِّ مَنفَذٍ مادِيٍّ، ولا يُستعمَل بصفته عُنوان مَصدَرٍ لِلرِّزم الَّتي ستُغادِر عُقدةً ما، ولا يَلزَم أن تُوجَّه الرِّزم الَّتي تَكُون وِجهتها عُنوان الحلقة العكسيَّة نحو خارِج العُقدة، ويَلزَم أيضاً أن تَتَخلَّص المُوجِّهات مِن أيِّ رِزمةٍ مُوجَّهةٍ نحو عُنوان الحلقة العكسيَّة.
- عناوين البثِّ فريد الوِجهة العالَمِيَّة:[560] وتُستخدَم لِعنونة مَنفَذٍ ما مُتَّصلٍ مع الإنترنت عنونةً فريدةً على مُستوَى الإنترنِت كُلِّها. يَتكوَّن العُنوان مِن ثلاثة حُقُولٍ (الشَّكل (10-6)):
  - حَقل بادِئة التَّوجيه العالَمِيَّة،[561] وهي تُمنَح لِلمَوقِع الَّذي يُشغِّل المَنفَذ وَفقاً لِهرميَّة التَّحصيصِ رُباعيَّة المُستوَيات الَّتي تُديرها هيئَة أرقام الإنترنت المُخصَّصة (الشَّكل (7-2)).

---

[557] أصل الاسم Unspecified address.

[558] أصل الاسم Loopback address. أمَّا الحلقة العكسيَّة، فهي اختبارٌ لِكشف الأَخطاء تُرسَل فيه إشارةٌ مِن مَصدرٍ إلى وِجهةٍ، ثُمَّ تَردُّها الوِجهة إلى المَصدَر، انظر ص. 222 في [BKE01] في ثبت المراجع. في هذا السِّياق، تَكُون العُقدة نفسُها هي المَصدَر والوِجهة.

[559] انظر ص. 9-11 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[560] أصل الاسم Global unicast address.

[561] أصل الاسم Global unicast prefix.

- ○ حَقل مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ والَّذي يَضبُطه مُشغِّلو المَوقِع حيث يُوجَد المَنفَذ، وذلك بهدف تجزِئة الفضاء المَمنُوح إلى أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ أَصغرَ حَجماً لِأَغراضٍ إداريَّةٍ أَو تنظيميَّةٍ.
- ○ حَقل مُعرِّف المَنفَذ، ويَضمُّ قِيمةً فريدةً تُميِّز العُنوان مِن غيره مِن عناوين الفضاء الجُزئِيّ.

وفي ما يَأْتِي مِثالٌ عن هذا العُنوان:

2001:1111:2222:3333::1

128-n-m بت	m بت	n بت
مُعرِّف المَنفَذ	**مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ**	**بادِئة التَّوجيه العالَميَّة**

الشَّكل (10-6): بِنية عُنوان البثّ فريد الوِجهة العالَميّ

يَكُون مَجمُوع طُولي حَقلي بادِئة التَّوجيه العالَميَّة ومُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ 64 بتاً في عناوين البثِّ فريد الوِجهة العالَميَّة الَّتي لا تَكُون قِيمة البتات ذات الأَهمِّيَّة القُصوَى فيها $(000)_2$، ما يَترُك 64 بتاً لِمُعرِّف المَنفَذ، وبهذا تَتَوافَق بِنية هذه العناوين مع تهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآليَّة الَّتي ستُناقَش لاحِقاً في هذا الفصل. أَمَّا العناوين الَّتي تكون قِيمة البِتات الأَكثر أَهمِّيَّةً فيها $(000)_2$، فهي لا تُلزَم بالبِنية السَّابِقة.

- عناوين البثِّ فريد الوِجهة في الوَصلة المَحلِّيَّة:[562] تَشغُل الفضاء fe80::/10، وتُستخدَم على مُستوَى الوَصلة المَحلِّيَّة فقط، وهي مُصمَّمةٌ لِتخدُم أَغراضاً مُحدَّدةً نحو التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة لِلعُنوان واكتشاف الجيران. لا تُوجِّه المُوجِّهات أَيَّ رِزمة بياناتٍ يَكُون عُنوان مَصدَرها أَو وِجهتها عُنوان وصلةٍ مَحلِّيَّةٍ.

يَتكوَّن عُنوان الوَصلة المَحلِّية مِن ثلاثة حُقُول (الشَّكل (10-7)):

- ○ حَقل مُعرِّف فضاء عناوين الوَصلة المَحلِّيَّة، طُوله 10 بتاتٍ، وقِيمته $(1111111010)_2$ دائِماً.
- ○ حَقلٌ صِفريٌّ يَبلُغ طُوله 54 بتاً.
- ○ حَقلٌ مُعرِّف المَنفَذ، ويُستخدَم لِتمييز المَنفَذ تميِيزاً فريداً على مُستوَى الوَصلة المَحلِّيَّة.

وفي ما يَأْتِي مِثالٌ عن هذا العُنوان:

fe80::1ff:fe01:101

64 بت	54 بت	10 بتات
مُعرِّف المَنفَذ	**000 ... 000**	**1111111010**

الشَّكل (10-7): بِنية عُنوان البثِّ فريد الوِجهة في الوَصلة المَحلِّيَّة

[562] أَصل الاسم Link-local unicast address.

- عناوين البثِّ فريد الوِجهة المَحلِّيَّة[563]: حُجِر لها الفضاء fc00::/7، وتُستخدَم مِن أَجل عنونة مَنفَذٍ ما عنونةً فريدةً عالَميَّاً، بهدف إنشاء اتِّصالاتٍ مَحلِّيَّةٍ فقط، ولذلك تُوجَّه الرِّزم المُعنونة بهذه العناوين إلى خارِج حُدُود المَوقِع الَّذي وُلِّدت فيه.[564]

يَتأَلَّف العُنوان الفريد المَحلِّيُّ مِن خمسة حُقُولٍ (الشَّكل (10-8)):[565]

- مُعرِّف فضاء العناوين الفريدة المَحلِّيَّة، طُوله 7 بتاتٍ، وقِيمته $_2$(1111110) دائِماً.
- بت المَحلِّيَّة، يُضبَط دائِماً إلى القِيمة 1 لِلإِشارة إلى أن العُنوان قد وُلِّد مَحلِّيَّاً.[566]
- حَقل البادِئة العالَميَّة، طُوله 40 بتاً، وهُو مُعرِّفٌ يُفترض أَن يُكون فريداً على مُستوَى الإنترنِت، يُضبَط مَحلِّيَّاً إلى قِيمةٍ عشوائِيَّةٍ.
- حَقل مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ، طُوله 16 بتاً، وهُو حَقلٌ مُخصَّصٌ لِمُديري الشَّبكة لِإتاحة إمكانيَّة إنشاء أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ.
- مُعرِّف المَنفَذ، طُوله 64 بتاً، ويُميِّز كُلَّ مَنفَذٍ على حِدة تمييزاً فريداً.[567]

وفي ما يَأتي مِثالٌ عن هذا العُنوان:

fdf8:f53b:82e4::53

7 بت	1 بت	40 بت	16 بت	64 بت
1111110		مُعرِّف عالَميّ	مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ	مُعرِّف المَنفَذ
	بت المَحلِّيَّة			

الشَّكل (10-8): بِنية عُنوان البثِّ فريد الوِجهة المَحلِّيّ

- عناوين البثِّ فريد الوِجهة المَحلِّيَّة في المَوقِع:[568] وهُو صَنفٌ مُبطَلٌ مِن عناوين البثِّ فريد الوِجهة، حُجِر له الفضاء الجُزئِيُّ fec::/10.[569] طُوِّر في الأَصل لِيَخدُم غرض العنونة داخِل مَوقِعٍ ما مِن غير الحاجة لِبادِئاتٍ عالَميَّةٍ، كانت بِنية هذه العناوين مُكوَّنةً مِن ثلاثة حُقُولٍ (الشَّكل (10-9)):
  - مُعرِّف فضاء العناوين المَحلِّيَّة في المَوقِع، طُوله 10 بتاتٍ، وقِيمته $_2$(1111111011) دائِماً.
  - مُعرِّف الفضاء الجُزئِيُّ، طُوله 54 بِتاً، يَضبُطه مُشرِفو المَوقِع وَفقاً لِلحاجة.

---

[563] أَصل الاسم Unique local IPv6 unicast address.

[564] انظر ص. 2 في [RFC4193] في ثَبت المَراجِع.

[565] أُصول أَسماء الحُقُول: بت المَحلِّيَّة Local bit والمُعرِّف العالَميّ Global identifier.

[566] تُشير بعضٌ مِن المَراجِع لِبادِئة هذا الفضاء بالشَّكل fd::/8 بدلاً مِن fc::/7، لِأَنَّ قِيمة بِت المَحلِّيَّة ثابِتةٌ دائِماً على القِيمة 1، لِعدم وُجُود استخدَامٍ آخرَ لها حتَّى تاريخ كِتابة هذه السُّطُور، وهذا خطَأٌ شائِعٌ لا يَجُوز، لِأَنَّ المِعيار الرَّسميّ يُشير صراحةً إلى إمكانيَّة تطويرٍ لاحِقةٍ لاستخداماتٍ أُخرَى لِهذا العُنوان تَكُون قِيمة بت المَحلِّيَّة فيها مُساوِيةً لِلصِّفر، انظر ص. 3 في [RFC4193] في ثَبت المَراجِع.

[567] انظر ص. 3-4 في [RFC4193] في ثَبت المَراجِع.

[568] أَصل الاسم Site-local unicast address.

[569] أَبطلته الوثيقة RFC 3879، انظرها في [RFC3879] في ثَبت المَراجِع.

○ مُعرِّف المَنفَذ، طُوله 64 بِتاً، لِتمييز المَنفَذ تمييزاً فريداً في الوَصلة المَحلّيّة.

64 بت	54 بت	10 بت
مُعرِّف المَنفَذ	**مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ**	**1111111011**

الشَّكل (10-9): بِنية عُنوان البثّ فريد الوجهة المَحلّيّ في المَوقِع

وفي ما يَأتي مِثالٌ عن هذا العُنوان:

fec0::1234:5678:9abc

- عناوين البثّ فريد الوِجهة الّتي تَتَضمَّن عناوينَ مِن الإصدار الرّابِع: يُوجَد نوعان مِن عناوين البثّ فريد الوِجهة في الإصدار السّادِس يَحمِلان في بتاتهما الاثنين والثّلاثين الأَقلّ أهمّيّةً عناوينَ مِن الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهُما:[570]

○ عناوين البثّ فريدة الوِجهة المُتوافِقة مع الإصدار الرّابِع:[571] عُرِّفت في الأَصل لِتُساهِم في دَعم عمليّة الانتقال مِن استعمال الإصدار الرّابِع إلى الإصدار السّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. يَتكوَّن هذا العُنوان، بدءاً مِن الخانة الأكثر أهمّيّةً، مِن 80 صِفراً مُتتالِياً، يَليها حَقلٌ يَضمُّ 16 صِفراً، وتُحدِّد هذه القِيمة كون العُنوان مِن النّوع المُتوافِق مع الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، يَليها عُنوان الإصدار الرّابِع الّذي يَلزَم أن يَكُون فريداً عالَميّاً (الشَّكل (10-10)).

بما أنَّ طريقة الانتقال مِن الإصدار الرّابِع إلى السّادِس الّتي تَستعمِل هذه العناوين قد أُبطِلت، فهذه العناوين لم تَعُد قَيد الاستخدام.[572] تُستعمَل الطّريقة الهجينة لِتمثيل هذا العناوين، وفي ما يَأتي مِثالٌ عنها:

::200.100.10.1

32 بت	16 بت	80 بت
عُنوان الإصدار الرّابِع	**000 ... 000**	**000 ... 000**

الشَّكل (10-10): بِنية عُنوان البثّ فريد الوِجهة المُتوافِق مع الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

○ عناوين البثّ فريد الوِجهة المُقترِنة مع الإصدار الرّابِع:[573] وتُستعمَل لِحَمل عُنوان الإصدار الرّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الّذي تَستضيفه عُقدةٌ تَدعَم الإصدار السّادِس أيضاً. وُصِفت طريقة استعمال هذا العُنوان في وثيقة طَلب التّعليقات RFC 4038، وهُو يَتكوَّن مِن ثلاثة حُقُولٍ هي (الشَّكل (10-11))، بدءاً مِن الخانة الأكثر أهمّيّةً، 80 صِفراً مُتتالِياً في الحَقل الأوّل، يَليها 16 واحِداً مُتتالِياً في الحَقل الثّاني،

---

[570] انظر ص. 10-11 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[571] أصل الاسم IPv4-compatible unicast address.

[572] انظر ص. 10 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[573] أصل الاسم IPv4-mapped unicast address.

تُحدِّد كون العُنوان مِن النَّوع المُقترِن مع الإصدار الرَّابِع، ثُمَّ عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. وفي ما يَأتِي مِثالٌ عن هذا العُنوان:

::ffff:192.0.2.47

32 بت	16 بت	80 بت
عُنوان الإصدار الرَّابِع	**111 ... 111**	**000 ... 000**

الشَّكل (10-11): بِنية عُنوان البثِّ فريد الوِجهة المُقترِن مع الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

عناوين البثِّ نحو الأَقرب[574]

هِي عناوين بثٍّ فريد الوِجهة تُمنَح لِأَكثرَ مِن مَنفَذٍ في الوقت عينِه، وغالِباً ما تَكُون في هذه المَنافِذ في عُقدٍ مُتمايزةٍ. إذا أُرسِلت رِزمة بياناتٍ ما إِلى عُنوان بثٍّ نحو الأَقرب، فإنَّها تُرسَل إِلى أَقرب[575] عُقدةٍ تَستضيف ذلك العُنوان.

تُحصَّص عناوين البثِّ نحو الأَقرب مِن فضاء البثِّ فريد الوِجهة، مِن غير أَيِّ قُيُودٍ إضافيَّةٍ، لِذلك لا يُمكِن تمييز عَناوين البثِّ نحو الأَقرب مِن عناوين البثِّ فريد الوِجهة رِياضيّاً. بعبارةٍ أُخرى، إذا مُنِح عُنوانُ بثٍّ فريد الوِجهة إِلى أَكثرَ مِن مَنفَذٍ في الوقت عينِه فإنَّه يُصبِح عُنوانَ بثٍّ نحو الأَقرب، ويَلزَم تهيئَة العُقَد لِتَكُون على درايةٍ بذلك.[576]

يَتكوَّن عُنوان البثِّ نحو الأقرب مِن قِسمين، يُمثِّل الأَوَّل بادِئة الفضاء الجُزئِيِّ، وهي مُعرِّفٌ رقميٌّ طُوله n بت، يُحدِّد جُزءاً مِن طُوبُولُوجيا الشَّبكة حيث تُوجَد العُقَد الَّتي تَستضيف عُنوان البثِّ نحو الأَقرب، أَمَّا القِسم الآخر مِن العُنوان فهُو ذو قِيمةٍ صِفريَّةٍ.

يَلزَم أَن تُميِّز المُوجِّهات، المَوجُودة ضِمن جُزء الطُّوبُولُوجيا الَّذي تُوجَد فيه العناوين، عُنوانَ البثِّ نحو الأَقرب ببندٍ فريدٍ في جداول التَّوجيه، ولكن خارِج ذلك الجُزء، يُمكِن تجميع العُنوان مع مَساراتٍ أُخرَى ولا داعٍ لِتمييزه ببندٍ فريدٍ. يُوجَد حالةٌ خاصَّةٌ يَلزَم أَن يَكُون فيها بند عُنوان البثِّ نحو الأَقرب فريداً على مُستوَى الإنترنت كُلِّها ولا يَجُوز تجميع بنده مع أَيِّ بندٍ آخرَ، وتَحصُل عند استعمال بادِئةٍ ذي قِيمةٍ غير ذات أَهمِّيَّةٍ،[577] أَي لا تَتَوافَق فيها العنونة مع التَّوزُّع الجُغرافِيِّ، ويُمكِن أَن تُمنَح هذه البادِئة لِلمَنافِذ في أَيِّ مَوقِعٍ في الإنترنِت.

عناوين البثِّ المَجمُوعاتِيِّ

عُنوان البثِّ المَجمُوعاتِيِّ هُو مُعرِّفٌ رقميٌّ يُميِّز مَجمُوعةً مُحدَّدةً مِن المَنافِذ الَّتي تَستضيفه والمُسمَّاة أَعضاءً في المَجمُوعة. كما مرَّ في الفصل الخامِس مِن هذا الكِتاب، فإنَّ إرسال أَيِّ رِزمة بياناتٍ إِلى عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتِيٍّ سيُؤَدِّي إِلى توجيهها إِلى أَعضاء المَجمُوعة المُميَّزة بذلك العُنوان كُلِّهم.

يَتكوَّن عُنوان البثِّ المَجمُوعاتِيِّ مِن أَربعة حُقُولٍ هي وَفقاً لِترتيب وُرُودها مِن الخانة الأَكثر أَهمِّيَّةً (الشَّكل (10-12)):

---

[574] أَصل الاسم IPv6 anycast address.

[575] أَشرنا في هامِشٍ سابِقٍ إِلى مَعنَى كَلِمة "أَقرب" في هذا السِّياق.

[576] انظر ص. 12-13 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[577] أَصل الاسم Null prefix، وnull تَعنِي العَدَم، وتَعنِي أَيضاً مُبطَل أَو مُلغَى، انظر ص. 780 في[BKE02] في ثَبت المَراجِع.

- حَقل بادِئة البثِّ المَجمُوعاتيّ: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوِي على القِيمة $(11111111)_2$ أو $(FF)_{16}$، وهي تُميّز عناوين فضاء البثِّ المَجمُوعاتيّ كُلِّها.
- حَقل الأَعلام: طُوله 4 بتاتٍ، تُثبَّت قِيمة البت الأَكثر أَهمِّيَّةً فيه إِلى القِيمة 0. أَمَّا البِتات الثَّلاثة التَّالِية فهي وَفقاً لِترتيب وُرُودها بدءاً مِن الخانة الأَكثر أَهمِّيَّةً:[578]
  - عَلَم الالتقاء: ويُحدِّد فيما إِذا كان العُنوان يَتضمَّن عُنوان نقطة الالتقاء[579] أَم لا، وهُو كذلك إِذا كان ذا قِيمةٍ واحِديَّةٍ، والعكس بالعكس.
  - عَلَم البادِئة: ويُحدِّد فيما إِذا كان العُنوان قد مُنِح على أَساس بادِئة الشَّبكة فريدة الوِجهة حيث سيُستضاف العُنوان، فإذا كانت قِيمة العَلَم واحديَّةً فإِنَّ العُنوان قد مُنِح على أَساس البادِئة والعكس بالعكس.[580]
  - عَلَم الدَّيمُومة: إِذا كان صِفريَّاً، فإِنَّ العُنوان مَمنُوحٌ مَنحاً دائِماً مِن طَرف هيئَة أَرقام الإِنترنِت المُخصَّصة ومَعرُوفٌ في الإِنترنتِ كُلِّها. أَمَّا إِذا كانت قِيمته واحِديَّةً، فالعُنوان ليس دائِماً ويَكُون ذا مَعنىً في مَجالٍ يُحدِّده حَقل المَجال، وهو الحَقل التَّالِي في التَّروِيسة.
- حَقل المَجال:[581] طُوله 4 بتاتٍ، ويَضمُّ ترميزاً يُحدِّد المَجال الطُّوبُولُوجيَّ الَّذي تَمتَدُّ عليه المَجمُوعة كما في الجدول (10-4).[582] تَكُون قِيم المَجال غير المَحجُوزة وغير المُخصَّصة لِمَجالٍ مُعيَّنٍ مُتاحةً لِلاستخدام مِن طَرف مُشرِفي الشَّبكة المَحلِّيَّة لِتعريف مَجالاتٍ فَرعيَّة تُلائِم أَغراضهم الخاصَّة.[583]
- حَقل مُعرِّف المَجمُوعة،[584] طُوله 112 بتاً، ويَضمُّ مُعرِّفاً رقميَّاً يُميِّز المَجمُوعة ضِمن المَجال المُحدَّد بحَقل المَجال.

8 بت	4 بت	4 بت	112 بت
11111111	أعلامٌ	المَجال	مُعرِّف المَجمُوعة

0	الالتقاء	البادِئة	الدَّيمُومة

الشَّكل (10-12): بِنية عُنوان البثِّ المَجمُوعاتيّ

[578] أُصول أَسماء الأَعلام: Rendez-vous point flag وPrefix flag وTransient flag على التَّرتيب.

[579] رَاجِع مَفهُوم نُقطة الالتقاء في الفصل الخامِس مِن هذا الكِتاب.

[580] انظر ص. 3 في [RFC3306] في ثَبت المَراجِع.

[581] أَصل الاسم Scope.

[582] انظر ص. 3 في [RFC7346] في ثَبت المَراجِع.

[583] انظر ص. 14 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[584] أَصل الاسم Group identifier.

الجدول (10-4): قِيم حَقل المَجال ومعانيها في عُنوان البثِّ المَجمُوعاتِيِّ لِلإصدار السَّادِس

قِيمة حَقل المَجال بنِظام العدِّ الثُّنائِيِّ	اسم المَجال	امتداد المَجال
0000	مَجالٌ مَحجُوزٌ	-
0001	مَجال المَنفَذ	يَشمُل مَنفَذاً واحِداً في عُقدةٍ واحِدةٍ ويُستعمَل في تطبيقات الحلقة العكسيَّة.
0010	مَجال الوَصلة المَحلِّيَّة	يَمتَدُّ لِيغطِّي الشَّبكة المَحلِّيَّة تغطيةً مُتوافِقةً مع فضاء عناوين البثِّ فريد الوِجهة المُستخدَم مَحلِّيّاً.
0011	مَجالٌ مَحجُوزٌ	-
0100	مَجال الإشراف المَحلِّيِّ	يَمتَدُّ على جُزءٍ مِن الشَّبكة يُحدِّده مُشرِفوها وهُو أَصغرُ مَجالٍ لِأَغراض البثِّ المَجمُوعاتِيِّ يُمكِن تحديده إشرافيّاً.
0101	مَجال المَوقِع المَحلِّيِّ	يَمتَدُّ المَجال لِيُغطِّي مَوقِعاً مَحلِّيّاً واحِداً، قد يَشمُل شَبكاتٍ عديدةً مَحلِّيَّةً، ولكنَّها تَعُود لِمُنظَّمةٍ واحِدةٍ.
0100	مَجال المُنظَّمة المَحلِّيُّ	يَمتَدُّ على مَواقِعَ مَحلِّيَّةٍ عديدةٍ لِمُنظَّمةٍ واحِدةٍ.
1110	المَجال العالَميُّ	يَشمُل الإنترنِت كامِلةً.
1111	مَجالٌ مَحجُوزٌ	-

تُوجَد بُنَى عناوين بثٍّ مَجمُوعاتِيٍّ أَكثر تَخصُّصاً، مِنها مثلاً ما تُعرِّفه الوثيقة RFC 3306، وفيه يُقسَّم مُعرِّف المَجمُوعة إلى أَربعة حُقُولٍ تَتَضمَّن مُعرِّفاً لِلمَجمُوعة بطُول 32 بتاً فقط، وحَقلاً لِبادِئة فضاء البثِّ فريد الوِجهة[585] الَّتي يُمنَح العُنوان على أَساسها.[586] تَصِف الوثيقة RFC 7371 أيضاً بُنَى عناوين البثِّ المَجمُوعاتِيِّ في الإصدار السَّادِس وحالاتها المُختلِفة ومعاني كُلٍّ مِنها.[587]

أَفضيةٌ مَحجُوزةٌ

تُوجَد أَفضية عناوينَ مَحجُوزةٍ مِن أَجل برُوتُوكُولاتٍ مُحدَّدةٍ أَو مِن أَجل استعمالاتٍ خاصَّة، ولا يَجُوز استعمال عناوينَ مِن هذه الأَفضية مِن لعنونة المُضيفين في الإنترنِت. تُشرِف هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على حفظ وإدارة هذه الأَفضية.[588]

أَفضية البثِّ فريد الوِجهة والبثِّ نحو الأَقرب

يُوجَد عَدَدٌ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة المَحجُوزة مِن فضاء البثِّ فريد الوِجهة الَّتي لا يُمكِن استعمالها لِعنونة المُضيفِين لِأَغراض البثِّ فريد الوِجهة أَو لِأَغراض البثِّ نحو الأَقرب.[589]

---

585 أَصل الاسم Network prefix.

586 انظر ص. 1 في [RFC3306] في ثَبت المَراجِع.

587 انظر الوثيقة [RFC7371] في ثَبت المَراجِع.

588 انظر ص. 14-20 في [RFC6890] في ثَبت المَراجِع.

589 انظر السِّجلَّ الخاصَّ بالهيئَة في [WEB31]، وقِسم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنت مِن المُلحَق ج في هذا الكِتاب.

فضاء البثِّ المَجمُوعاتيِّ

تُدير هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة فضاء عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهُو الفضاء الَّذي يَتَحدَّد بالبادِئة ff00::/8.[590] تُوجَد مَجمُوعةٌ مِن العناوين المُعرَّفة المَحجُوزة الَّتي لا تُمنَح لِأَيِّ مَجمُوعةٍ مِن مَجمُوعات الإصدار السَّادِس، وهي:[591]

- العناوين ذات البِنية ff0#:0:0:0:0:0:0:0 كُلُّها، وعَدَدها 16 عُنواناً، ويُقابِل المِحرَف # فيها مَرتَبةً سِتة عَشريَّةً تَأخُذ أَيَّ قِيمةٍ مِن المَجمُوعة {0، 1، 2، ... 9} أَو {a، b، ... f}.
- عُنوان مَجمُوعة كُلِّ العُقد في مَجال المَنفَذ و عُنوان مَجمُوعة كُلِّ العُقد في المَجال المَحلِّيِّ، وهُما على التَّرتيب: ff01:0:0:0:0:0:0:1 وff02:0:0:0:0:0:0:1.
- عُنوان مَجمُوعة كُلِّ المُوجِّهات في مَجال المَنفَذ وعُنوان مَجمُوعة كُلِّ المُوجِّهات في المَجال المَحلِّيِّ وعُنوان مَجمُوعة كُلِّ المُوجِّهات في مَجال المَوقِع، وهذه العناوين هي على التَّرتيب: ff01:0:0:0:0:0:0:2 وff02:0:0:0:0:0:0:2 وff05:0:0:0:0:0:0:2.
- عناوينُ التماس العُقدة[592] مِن فضاء البثِّ فريد الوِجهة أَو فضاء البثِّ نحو الأَقرب، ويَتحدَّد هذا الفضاء بالبادِئة: ff02:0:0:0:0:1:ff00::/104.
- أَيُّ عناوينَ مَجمُوعاتٍ أُخرَى مَحجُوزةٍ مِن طَرف هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة، نحو مَجمُوعة المُوجِّهات الَّتي تُشغِّل برُوتُوكُولات التَّوجيه. مثلاً، العُنوان ff02:0:0:0:0:0:0:9 مِن أَجل مَجمُوعة كُلِّ المُوجِّهات الَّتي تُشغِّل برُوتُوكُول مَعلُومات التَّوجيه، وff02:0:0:0:0:0:0:a مِن أَجل مَجمُوعة كُلِّ المُوجِّهات الَّتي تُشغِّل برُوتُوكُول التَّوجيه الدَّاخِليِّ المُحسَّن بين البوَّابات.

عناوينُ مُلزِمةٌ

تُميِّز معايير الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت بين والمُوجِّه والمُضيف، فالمُوجِّه هُو عُقدةٌ تُوجِّه رِزم بياناتٍ لم تُولِّدها بنفسِها لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[593] أَمَّا المُضيف فهُو أَيُّ عُقدةٍ أُخرَى ما خلا المُوجِّهات. يَلزَم على كُلِّ مُضيفٍ، بناءً على ذلك، أَن يَكُون قادِراً على تمييز العناوين التَّالِية بصفتها مُعرِّفاتٍ ذاتيَّةً له:[594]

- عُنوانٌ مَحلِّيٌّ في الوَصلة مِن أَجل كُلِّ مَنفَذٍ مِن مَنافِذه.
- عُنوان الحلقة العكسيَّة.
- عناوين البثِّ فريد الوِجهة أَو عناوين البثِّ نحو الأَقرب الَّتي هُيِّئ بها، سواء كانت التَّهيئَة يدويَّةً أَو آليَّةً.
- عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ المَحجُوزة لِلعُقَد.

---

[590] انظر سِجلَّ الهيئَة الخاصَّ بأَفضية البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِلإصدار السَّادِس في [WEB32] في ثَبت المَراجِع.

[591] انظر ص. 16-17 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

[592] أَصل الاسم Solicited-Node Address.

[593] انظر ص. 5 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[594] انظر ص. 17 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

- عُنوان البثِّ المَجمُوعاتِيّ الخاصّ بالتماس العُقدة مِن أَجل كُلّ عُنوان بثٍّ فريد الوِجهة أو بثٍّ نحو الأَقرب.
- أيُّ عناوينَ بثٍّ مَجمُوعاتِيٍّ تُمثِّل مَجمُوعاتٍ انضمَّ المُضيف إليها.

أمَّا المُوجِّه، فيَلزَم أَن يُميِّز بالإضافة لما سَبق العناوين التَّالِية، بوصفها مُعرِّفات ذاتيَّةً له:[595]

- عناوينُ البثِّ نحو الأَقرب لِلأَفضية الجُزئيَّة على المَنافِذ الَّتي هُيِّئت لِتَعمل بوصفها مَنافِذَ لِلمُوجِّه.
- عناوينُ البثِّ نحو الأَقرب الَّتي هُيِّئ المُوجِّه بها.
- عناوينُ البثِّ المَجمُوعاتِيّ المَحجُوزة لِلمُوجِّهات.[596]

تهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآليَّة[597]

هي آليَّةٌ تُحدِّد الخَطوات الَّتي يَتَّخذها مُضيفو الإصدار السَّادِس مِن أَجل تهيئَة مَنافِذهم ذاتيّاً بعناوينَ وصلةٍ مَحلِّيَّةٍ أو بعناوينَ عالَميَّةٍ باستعمال مُعرِّفات المَنفَذ المُولَّدة مَحليّاً ومَعلُومات البادِئات الَّتي يَحصُلون عليها مِن إعلانات المُوجِّهات في الشَّبكة المَحلِّيَّة. تَشمُل هذه الآليَّة أَيضاً إجراءَاتٍ مُحدَّدةً لِاكتشاف الاستخدام المُتعدِّد لِلعُنوان لِضمان تَفرُّده على مُستوَى الوَصلة المَحلِّيَّة. لا تَتَطلَّب التَّهيئَة الذَّاتيَّة أيَّ إعدادٍ يدويٍّ في المُضيفِين، بل إعداداً بسيطاً في المُوجِّهات، وقد لا يَكُون ضرُوريّاً. وهي لا تَحتاج لِوُجُود مُخدِّماتٍ. يُمكِن لِلمُضيف بواسطة هذه الآليَّة، حتَّى في غياب المُوجِّهات، أَن يُولِّد ذاتيّاً عُنواناً مَحلِّيّاً في الوَصلة مِن غير أَيِّ تَدخُّلٍ خارِجيٍّ.[598]

تَحصُل عمليَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة في المَنافِذ الَّتي تَدعَم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت في أَربع حالاتٍ هي: تشغيل المَنفَذ بعد إقلاع النِّظام، وإعادة تشغيل المَنفَذ بعد إخفاق سابِقٍ له، واتِّصال المَنفَذ مع شَبكةٍ ما لِلمرَّة الأُولَى، وإعادة تفعيل المَنفَذ بعد تعطيلٍ سابِقٍ لِأَسبابٍ إشرافيَّةٍ.[599]

تَحصُل عمليَّة التَّوليد الذَّاتيَّة الآليَّة لِعُنوانٍ مَحلِّيٍّ في الوَصلة باتباع الخَطوات التَّالِية:[600]

- تكون بادِئة العُنوان هي fe80::/10، وتَحجِز البِتات العَشرة الأَكثرَ أَهمِّيَّةً.
- يُملَأ سائِر العُنوان بالأَصفار.
- يُحسَب مُعرِّف المَنفَذ، ولِيَكُن طُوله N بتاً، وقد يَحتوِي عُنواناً مادِيّاً مَوجُوداً في المَنفَذ نفسِه، ويَكُون طُوله 64 بتاً في الغالِب.
- يُستبدَل مُعرِّف المَنفَذ بقِيم N صِفراً مِن العُنوان، تُحدَّد بدءاً مِن الخانة الأَقلِّ أَهمِّيَّةً فيه.

---

[595] انظر الهامِش السَّابِق نفسَه.

[596] انظرها في سِجلِّ الهيئَة في [WEB32] ثَبت المَراجِع.

[597] أَصل الاسم IPv6 stateless address autoconfiguration.

[598] انظر ص. 3 في [RFC4862] في ثَبت المَراجِع.

[599] انظر ص. 11-12 مِن المَرجِع في الهامِش السَّابِق.

[600] انظر ص. 12 مِن المَرجِع في الهامِش السَّابِق.

يُمكِن أيضاً أن تُستخدَم الآليَّة السَّابِقة نفسُها في تشكيل عناوينَ فريدةٍ عالَميَّاً. و يَلزَم، لِتحقيق ذلك، أن يَحصُل المُضيف على البادِئة الفريدة عالَميَّاً باستعمال برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، سواء عن طريق إرسال رِسالة اِلتماسٍ لِلمُوجِّهات المَوجُودة في الشَّبكة المَحلِّيَّة أو انتظار رسائِل الإعلان الَّتي تُرسِلها دوريَّاً. بعد ذلك، يَستعمِل المُضيف البادِئة الَّتي حَصَل عليها في الخَطوة الأُولَى مِن الخوارزميَّة السَّابِقة بدلاً مِن بادِئة فضاء العناوين المَحلِّيَّة في الوَصلة fe80::/10، ثُمَّ يُتابِع تنفيذ سائِر الخَطوات كما وَرَدت، وستُدرَس الآليَّتان في الفصل الثَّانِي عَشر مِن هذا الكِتاب.[601]

في ما يَخصُّ مُعرِّفات المَنافِذ، يُمكِن توليدها باستعمال العناوين الماديَّة كما في آليَّة توليد المُعرِّف الفريد المُوسَّع المُطوَّرة مِن طَرف مَعهَد مُهندِسي الكهرَباء والإلكترونيَّات،[602] أو تُولَّد توليداً مُستقِلَّاً عن العناوين الماديَّة باعتماد خوارزميَّةٍ مَوصُوفةٍ في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 7217، وتَكُون المُعرِّفات النَّاتِجة عنها آمنةً ومُستقرَّةً وفريدةً على المُستوَيين المَحلِّيِّ والعالَميِّ.[603]

إدارة فضاء العناوين: التَّحصيص والمَنح

تُشرِف شركة الإنترنِت لِلأرقام والأسماء المُخصَّصة، عبر هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على تحصيص فضاء عناوين الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت تحصيصاً مُشابهاً لِلإصدار الرَّابِع، وتُنجَز عمليَّة التَّحصيص وَفقاً لِهرميَّةٍ مُكوَّنةٍ مِن المُستوَيات الأَربعة نفسِها (الشَّكل (7-2)). يَقع العميل الَّذي يَحصُل على فضاءٍ جُزئِيٍّ مُخصَّصٍ في قاعِدة الهرم وهُو المُستوَى الرَّابِع والأَخير في الهرميَّة، أَمَّا المُستوَيات الثَّلاث الأُوَّل، فهي مُرتَّبةٌ بدءاً مِن رَأس الهرم وصُولاً لِقاعِدته كما يَلي: هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة ثَمَّ سِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة ويَليها سِجلَّات الإنترنت المَحلِّيَّة.

وَضَعت شركة الإنترنِت لِلأرقام والأسماء المُخصَّصة سِياسةً تُنظِّم عمليَّة التَّحصِيص، تُلزَم هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة بمُوجِبها بتقديم حِصصٍ مِن العناوين لِسجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة تَكفِي حاجتها 18 شهراً على الأَقلِّ، على أَن تَكُون البادِئة الدُّنيا الَّتي تُحصِّصها الهيئَة هي 12/.[604] تُوفِّر عمليَّة تهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآليَّة وسيلةً لِعنونة المُضيفين آليَّاً باستعمال العناوين المَحلِّيَّة مِن غير الحاجة لِتدخُّلٍ يدويٍّ مِن طَرف مُدير الشَّبكة، وفيها يُملَأ قِسم مُعرِّف المَنفَذ اعتماداً على العناوين الماديَّة لِلمَنافِذ. تُحدِّد وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 4291 العَلاقة بين طُول البادِئة ومُعرِّف المَنفَذ في عُنوان الإصدار السَّادِس الَّذي يَبلُغ طُوله 128 بتاً كما يَلِي: إذا كان طُول البادِئة هُو n بتاً، فإنَّ طُول مُعرِّف المَنفَذ المُلائِم لِعمليَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة سيَكُون $(128-n)$ بتاً،[605] وتَدَعم الشَّركات المُصنِّعة لِبطاقات الشَّبكة هذا المِعيار أو تُقدِّم حُلُولاً مُتوافِقةً معه، نحو المُعرِّف الفريد المُوسَّع سالِف الذِّكر، لِإيجاد التَّوافق مع العُنوان المادِي في الإيثرنِت، المَعرُوف باسم

---

[601] انظر ص. 17-21 مِن المَرجِع في الهامِش السَّابِق.

[602] أَصل الاسم Extended Unique Identifier، اختصاراً EUI، وهي آليَّةٌ لِتوليد مُعرِّف مَنفَذٍ فريدٍ اعتماداً على عُنوان النَّفاذ لِلوسط خاصَّته، لِلمزيد حولها انظر [STD10] في ثَبت المَراجِع.

[603] انظر ص. 5 في [RFC7217] في ثَبت المَراجِع.

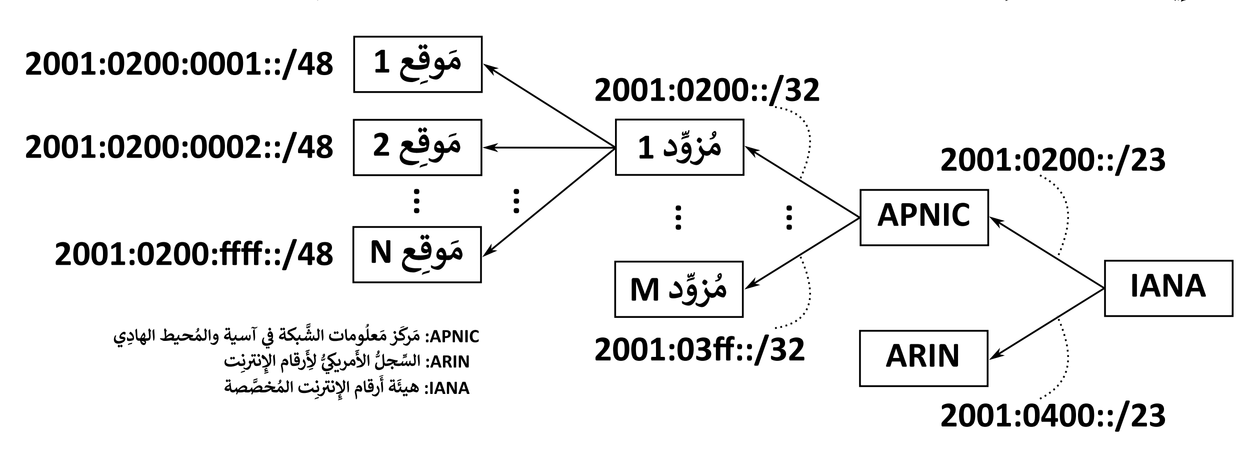
[604] انظر نصَّ السِّياسة في [WEB33] في ثَبت المَراجِع.

[605] انظر ما جاء في هذا الشَّأن في ص. 7 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

عُنوان التَّحكُّم بالنَّفاد لِلوسط، البالِغ طُوله 48 بتاً فقط.[606] أي يُستحسَن أن يَكُون طُول البادِئة النِّهائِيُّ هُو 64 بتاً لِإتاحة الفرصة لِعمليَّة تهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآليَّة.

تَكُون البادِئة، خلال عمليَّة التَّحصيص وعمليَّة التَّخصيص[607] لِعناوين الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، مَحصُورةً نظريَّاً بين 12/، وهي البادِئة الدُّنيا الَّتي تُحصِّصها هيئَة أرقام الإنترنِت المُخصَّصة، و64/، وهُو الطُّول الأَقصَى اللَّازِم لِدعم عمليَّة تهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآليَّة. أمَّا عمليَّاً، فقد حَصَّصت الهيئَة بادِئاتٍ، نحو 23/ و12/، لِسِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة[608] الَّتي قَدَّمت بدورها حُلُولاً لِمُزوِّدات الخِدمة أو لِلعُملاء على حدٍّ سواء، بمَنح أفضيةٍ جُزئيَّةٍ مُتنوِّعة الأَحجام ذات بادِئاتٍ لا تَتجاوز 64/.

يُبيِّن الشَّكل (10-13) مِثالاً لِعمليَّة تحصيصٍ ثُلاثيَّة المُستويات، تُحصِّص هيئَة أرقام الإنترنِت المُخصَّصة، في المُستوَى الأَوَّل مِنها، أَفضيةً جزئيةً مُحدَّدةً بالبادِئة 23/ لِلسِّجلِّ الأَمريكِيِّ لِأَرقام الإنترنِت ولِمَركَز مَعلُومات الشَّبكة في آسية والمُحيط الهادِي. ثُمَّ يُحصِّص مَركَز مَعلُومات الشَّبكة بعدها، في المُستوَى الثَّانِي، فصاءَه الجُزئِيَّ إلى أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ أَصغرَ مُحدَّدةٍ بالبادِئة 32/، ويَمنَح هذه الحِصص لِمُزوِّدات خِدمة إنترنِت مَحلِّيَّةٍ في المُستوَى الثَّالِث حيث يُحصِّص كُلٌّ مِنها فضاءَه الجُزئِيَّ، إلى أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ أَصغرَ مُحدَّدةٍ بالبادِئة 48/، ثُمَّ يَمنَح هذه الأَفضية لِمَواقِعَ على الإنترنِت.



الشَّكل (10-13): مِثالٌ لِمَنح بادِئةٍ مِن الإصدار السَّادِس لِبرُوتُوكُول الإنترنت عبر هرميَّة التَّحصيص

يَدعَم مَركَز مَعلُومات الإنترنِت الأُوروبِيُّ مثلاً، وهُو سِجلٌّ إنترنِت إقليميٌّ، حِصصاً مِن أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ ذات بادِئات يَتراوح طُولها بين 32/ و64/، ويُشير إلى أَنَّ الأَطوال الأَكثر طَلباً هي لِلبادِئتين 48/ و56/، وهي تَضمُّ على التَّوالي: 65.536 و256 فضاءً جُزئِيّاً مُحدَّداً بالبادِئة 64/.[609]

التَّجزِئة

يُقسَّم مَجال فضاء العناوين في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت إلى مَجمُوعةٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة وَفقاً لِلغرض مِن الاستخدام. تُدير هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة عمليَّة تحصيص الأَفضية، ومِنها عمليَّة تحصيص فضاء عناوين البثِّ

[606] انظر ص. 9-10 في [STD10] في ثَبت المَراجِع.

[607] انظر الفرق بين المُصطلَحين في هوامِش الفصل السَّابِع مِن هذا الكِتاب.

[608] انظر سِجلَّ هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة لِأَفضية الإصدار السَّادِس في [WEB34] في ثَبت المَراجِع.

[609] وَرَدت هذه الأَرقام في صفحةٍ إرشاديةٍ لِلسِّجلِّ على الإنترنِت، يُمكِن الاطلاع عليها عبر [WEB35] في ثَبت المَراجِع.

فريد الوِجهة، وفيها تُمنَح العناوين الفريدة عالَميَّاً على أَساسٍ جُغرافيٍّ وَفقاً لِبنيةٍ هرميَّةٍ تَسمَح باستعمال تقنيَّات التَّوجيه غير الصَّنفيّ بين النِّطاقات لِاختزال عناوين الأَفضية ولِتجميع المَسارات، والغرض مِن ذلك استقرار جداول التَّوجيه على المُستوَى العالَميّ، كما تَقدَّم في الفصل الثَّامِن مِن هذا الكِتاب.

تُحصِّص هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة أَفضية عناوينَ لِسِجلَّات الإنترنِت الإقليميَّة، عن طريق مَنحها بادِئاتٍ بطُول 23 بتاً. يُجزِّئ كُلُّ سِجلٍّ إنترنِت إقليميٍّ، بعد ذلك، فضاء العناوين إلى أَفضية عناوينَ جُزئيَّةٍ تُمنَح لِمُزوِّدات الخِدمة، وقد تَحصُل عمليَّة المَنح على أكثر مِن مُستوَى، نحو مَنح فضاء عناوين لِمُزوِّد خِدمةٍ وطنيٍّ لِيُجزِّئَه إلى أَفضيةٍ أَصغرَ تُمنَح لِمُزوِّدات الخِدمة المَحلِّيَّة. يَحصُل العملاء على أَفضية عناوينَ جُزئيَّةٍ مِن مُزوِّدات الخِدمة المَحلِّيَّة، وتَكُون البادِئة عادةً بطُول 48 بتاً. يَقتطِع مُديرو الشَّبكات، في الغالِب الأَعمّ، قِسماً يَبلُغ طُوله 16 بتاً مِن مُعرِّف المَنفَذ، ويُنشِئُون قِسماً جديداً هُو مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ الَّذي يُضاف إلى البادِئة لِيُصبِح الطُّول النِّهائيُّ 64 بتاً، ويَترُك ذلك 64 بتاً لِمُعرِّف المَنفَذ، وهُو طُولٌ مُلائِمٌ لآليَّة توليد المُعرِّف الفريد المُوسَّع كما تَقدَّم.

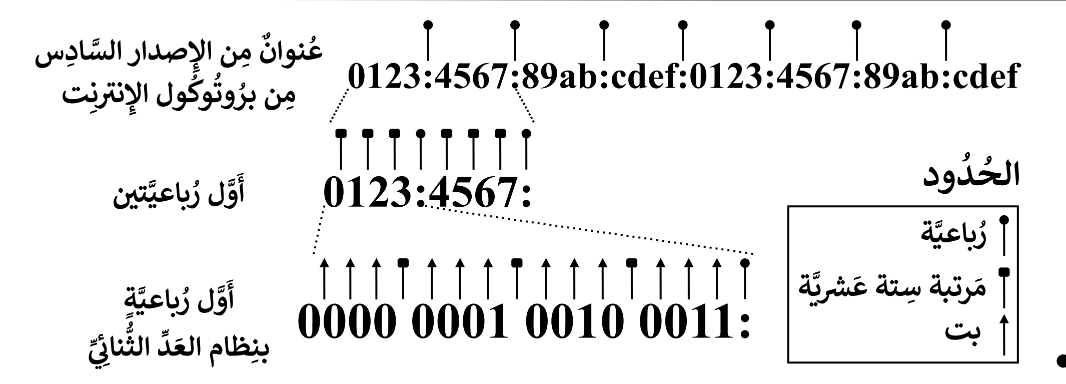
تَتَشابه التَّجزِئة في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مع التَّجزِئة في الإصدار الرَّابِع آليَّةً، ولكنَّها تَختلِف عنها غايةً، فهي تَهدُف إلى تنظيم استعمال فضاء العناوين بطريقةٍ مُتوافِقةٍ مع آليَّة التَّوجيه، ولا تُستخدَم لِتحديد حَجمٍ مُحدَّد مِن أَفضية العناوين كما هي الحالة في الإصدار الرَّابِع، فعَدَد العناوين المُتاحة في فضاءٍ جُزئِيٍّ واحِدٍ مِن الإصدار السَّادِس طُول بادِئته 64 بتاً، يَزيد بأَضعافٍ مُضاعَفةٍ عن مليارات المِليارات، وهُو بحِدَة ذاتِه، أكبر مِن فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت كامِلاً.

يُقتطَع قِسمٌ مِن الطرف الأكثر أَهمِّيَّةً في مُعرِّف المَنفَذ عند تجزِئَة فضاء عناوينَ مِن الإصدار السَّادِس، ويُنشَأ قِسمٌ جديدٌ هُو مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ، ويُمكِن التَّمييز بين الحالات التَّالِية وَفقاً لِمَوقِع نهاية مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ ضِمن العُنوان (الشَّكل (10-14)):[610]

- مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ يَنتهِي عند حُدُود إِحدَى المَجمُوعات الرُّباعيَّة، ويَعنِي ذلك أَن نِهاية المُعرِّف تَكُون عند أَحد البتات ذوات الفهارِس {15، 31، 47، 63، 79، 95، 111، 127}.
- مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ يَنتهِي عند حُدُود إِحدى المَراتِب السِّتة عَشريَّة ضِمن مَجمُوعةٍ رُباعيَّةٍ، وتُوجَد ثلاث حالاتٍ مُمكِنة في كُلّ مَجمُوعةٍ رباعيَّةٍ، مثلاً في المَجمُوعة الأُولَى هي البتات ذوات الفهارِس {3، 7، 11} وفي الثَّانِية هي {19، 23، 27} وهكذا.
- مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ يَنتهِي عند حُدُود أَحد البِتات ضِمن خانةٍ سِتة عَشريَّةٍ داخِل مَجمُوعةٍ رُباعيَّةٍ، وتُوجَد ثلاثُ حالاتٍ مُمكِنةٌ في كُلّ خانةٍ سِتَّة عَشريَّةٍ، مثلاً في الخانة السِّتة عَشرية الثَّانية، تَكُون الحُدُود المُمكِنة عند البتات ذوات الفهارِس {4، 5، 6} وفي الخانة السِّتة عَشرية الثَّالِثة عند البتات ذوات الفهارِس {8، 9، 10} وهكذا.[611]

[610] انظر أَمثلةً رِياضيَّةً عن كُلّ حالةٍ في قِسم الإصدار السَّادِس في المُلحَق د مِن هذا الكِتاب.

[611] يُستثنَى البت ذو الفهرس 0 مِن المَرتَبة السِّتة عَشريَّة الأُولَى، ولِذلك فحُدُود نِهاية مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ الخاصّ بها تضمُّ البتات ذوات الفهارس {1,2} فقط، والسَّبب في ذلك أَن استعماله يَعنِي بادئِة فضاءٍ تَمتَدُّ على 0 بتٍ، وهي حالةٌ مُستحيلةٌ عمليّاً.



• الشَّكل (10-14): حالات حُدُود مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

تقطيع رِزم البيانات وإِعادة تجميعها

تقطيع رِزمة البيانات وإعادة تجميعها هُما وظيفتان مِن وظائِف الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. تَحصُل عمليَّة التَّقطيع في المُضيف المَصدَر عندما يَكُون طُول الرِّزمة أكبرَ مِن وَحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالمَسار كامِلاً، وعندها تُقطَّع حُمُولة رِزمة البيانات الأَصيلة إِلى عَدَدٍ مِن القِطع، ويُضاف لِكُلٍّ مِنها ترويسة البرُوتُوكُول وترويسة القِطعة، ثُمَّ تُرسَل القِطع إِلى وِجهة الرِّزمة الأَصيلة نفسِها حيث يُصار إِلى تجميعها.[612]

يُولِّد المُضيف المَصدَر قِيمةً مُميَّزةً ويَستعمِلها مُعرِّفاً ضِمن حَقل المُعرِّف في ترويسة القِطعة مِن أَجل كُلِّ عمليَّة تقطيعٍ.[613] وبهذا يُمكِن لِلمُضيف الوِجهة التَّعرُّف على القِطع الَّتي نَتَجت عن عمليَّة تقطيعٍ واحِدةٍ في الحالات الَّتي يَستقبِل فيها قِطعاً ناتِجةً عن أكثرَ مِن عمليَّة تقطيعٍ مِن المَصدَر نفسِه.[614]

الجدول (10-5): جدولٌ بأَطوال البادِئات المُحتمَلة في الإصدار السَّادِس وأَعداد الأَفضية الجُزئِيَّة المُوافِقة لِكُلٍّ مِنها وعَدَد بِتات مُعرِّف المَنفَذ فيها

البادِئة	عَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة المُكافِئة			عَدَد بتات مُعرِّف المَنفَذ
	/48	/56	/64	
/24	2^{25}	2^{32}	2^{40}	104
/25	2^{24}	2^{31}	2^{39}	103
/26	2^{23}	2^{30}	2^{38}	102
/27	2^{22}	2^{29}	2^{37}	101
/28	2^{21}	2^{28}	2^{36}	100
/29	2^{20}	2^{27}	2^{35}	99
/30	2^{19}	2^{26}	2^{34}	98
/31	2^{18}	2^{25}	2^{33}	97
/32	2^{17}	2^{24}	2^{32}	96
/33	2^{16}	2^{23}	2^{31}	95
/34	2^{15}	2^{22}	2^{30}	94
/35	2^{14}	2^{21}	2^{29}	93
/36	2^{13}	2^{20}	2^{28}	92

[612] انظر ص. 184 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[613] انظر بِنية التَّرويسة في المُلحَق و في هذا الكِتاب.

[614] انظر ص. 15-22 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

/37	4096	2^{19}	2^{27}	91
/38	2048	2^{18}	2^{26}	90
/39	1024	2^{17}	2^{25}	89
/40	512	2^{16}	2^{24}	88
/41	256	2^{15}	2^{23}	87
/42	128	2^{14}	2^{22}	86
/43	64	2^{13}	2^{21}	85
/44	32	4096	2^{20}	84
/45	16	2048	2^{19}	83
/46	8	1024	2^{18}	82
/47	4	512	2^{17}	81
/48	2	256	2^{16}	80
/49	1	128	2^{15}	79
/50		64	2^{14}	78
/51		32	2^{13}	77
/52		16	4096	76
/53		8	2048	75
/54		4	1024	74
/55		2	512	73
/56		1	256	72
/57			128	71
/58			64	70
/59			32	69
/60			16	68
/61			8	67
/62			4	66
/63			2	65
/64			1	64

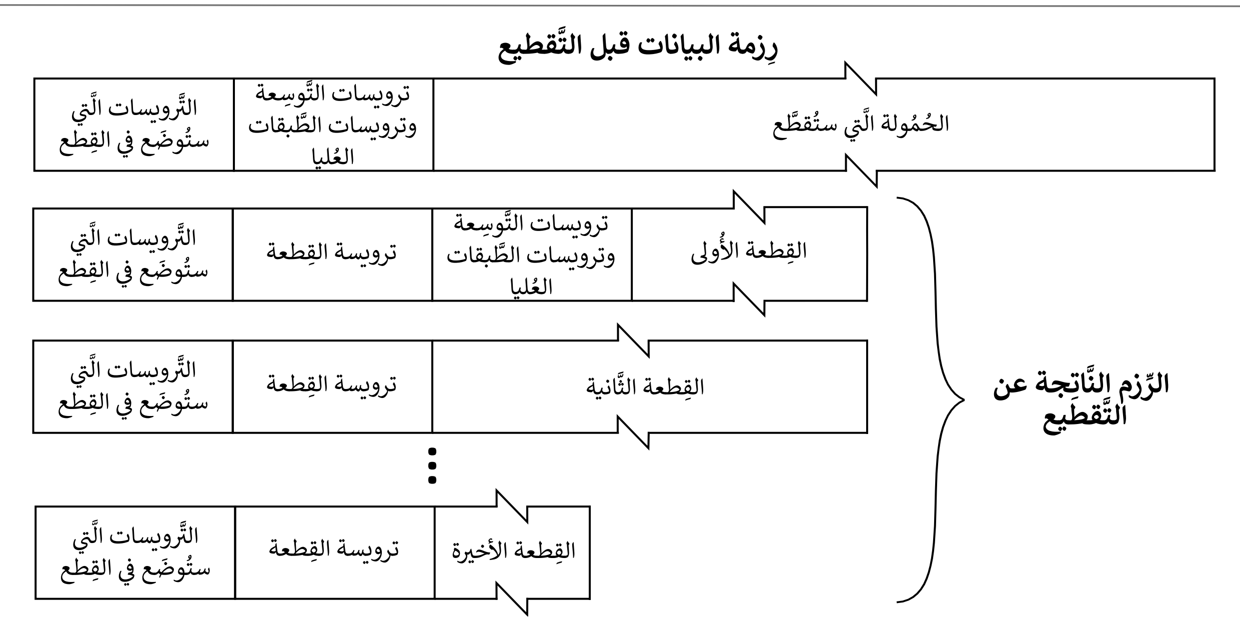
يُمكِن نظريّاً إرسال رِزمة بياناتٍ تَبلُغ مِن الطُّول 65535 بايتاً مِن غير تقطيعها، ولكن، غالِباً ما يَلزَم التَّقطيع في حالةٍ مثل هذه، لِوجود طُول نقلٍ أعظمَ أقلَّ مِنه مُحدَّدٍ سلفاً في طَبقة الوَصلة. أمَّا طُول رِزمة البيانات الأَدنَى الَّذي يَدعَمه البرُوتُوكُول، فهُو 1280 بايتاً. يَدعَم البرُوتُوكُول أَيضاً الرِّزم العِملاقة، وهي رِزم بياناتٍ يَتراوح طُولها بين 2^{16} و2^{32} بايتاً وتُستخدَم في شَبكات بياناتٍ تَدعَم أَحجاماً لِوحدات نقلٍ عُظمَى أكبر مِن 65535 بايتاً.[615]

التَّقطيع

يُعامِل المُضيف المَصدَر رِزمةَ البيانات الَّتي يُريد تقطيعها على أنَّها مُكوَّنةٌ مِن ثلاثة أَجزاءٍ (الشَّكل (10-15)):

- التَّرويسات الَّتي ستُوضَع في القِطع: تَضمُّ هذه التَّرويسات ترويسة الإصدار السَّادِس وترويسات التَّوسِعة التَّالِية لها حتَّى ترويسة التَّوجيه، إن وُجِدت. وإلا، فحتَّى ترويسة خِيارات المَسار، إن وُجِدت. وأَمَّا إذا غَابت هاتان التَّرويستان وما سَبقهما، ضَمَّ هذا الجُزء ترويسة الإصدار السَّادِس فقط.

[615] أَصل الاسم Jumbogram، لِلمزيد حولها انظر [RFC2675] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (10-15): المبدَأ العامُّ لِلتَّقطيع في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

- ترويسات التَّوسِعة وترويسات الطَّبقات العُليا: وتَضمُّ ترويسات التَّوسِعة الأُخرَى كُلَّها الَّتي لم تُشمَل في القِسم السَّابِق. أمَّا ترويسات الطَّبقات العُليا، فتَشمُل كُلَّ التَّرويسات الَّتي ليست ترويسات توسِعةٍ نحو ترويسات برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل وبرُوتُوكُول حِزم بيانات المُستخدِم وبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[616]
- الحُمُولة: وهي القِسم الَّذي سيُقطَّع، ويَبدَأ بعد ترويسات الطَّبقات العُليا، ويَشمُل البيانات المَحمُولة في الرِّزمة.

تَجرِي عمليَّة التَّقطيع وَفقاً لِلخَطوات التَّالية (الشَّكل (10-16)):

1. تحديد طُول رِزمة الإصدار السَّادِس الَّتي ستَنتُج عن التَّقطيع، ويُرمَز لها L_{pkt}.
2. إنشاء القِطعة الأُولَى، وهي تَتَضمَّن ما يَأتِي وَفقاً لِتسلسُل الوُرود: التَّرويسات الَّتي ستُوضَع في القِطع وترويسة القِطعة (مع رفع عَلَم المزيد مِن القِطع فيها) وترويسات التَّوسِعة وترويسات الطَّبقات العُليا وقِطعةٌ مِن الحُمُولة يُحدَّد طُولها كما سيَأتِي:
   أ. يُحسَب مَجمُوع أطوال التَّرويسات الَّتي ستُوضَع في القِطع وترويسة القِطعة وترويسات التَّوسِعة وترويسات الطَّبقات العُليا، ويُرمَز له $S_{1PktHdr}$.
   ب. يُطرَح المَجمُوع مِن طُول رِزمة الإصدار السَّادِس المُحدَّد بالخَطوة الأُولَى، والنَّاتِج هُو طُول حُمُولة القِطعة الأُولَى L_{1pkt}، أي وَفقاً لِلعَلاقة (10-1):

$$L_{1PktLd} = L_{pkt} - S_{1PktHdr} \qquad (1\text{-}10)$$

3. تُقتطَع حُمُولة القِطعة الأُولَى مِن حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة.

[616] تُستثنَى في هذا السِّياق ترويسة تَأمين الحُمُولة بالتَّغليف وتُعامَل مُعامَلة ترويسة الطَّبقات العُليا مع أنَّها ترويسة توسِعةٍ لِلإصدار السَّادِس مِن البرُوتُوكُول، لِلمزيد انظر ص. 17 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

4. تحديد عَدَد القِطع اللّازم تقطيعها N_{pkt} بتقسيم حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة L_{OrgLd}، بعد اقتطاع حُمُولة القِطعة الأُولَى، على طُول الرِّزمة المُحدَّد بالخَطوة الأُولَى، أَي وَفقاً لِلعَلاقة (10-2):

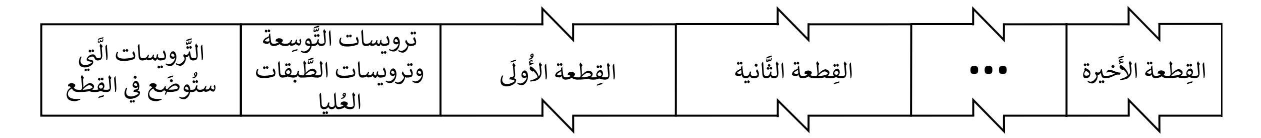
$$N_{pkt} = \frac{L_{OrgLd} - L_{1PktLd}}{L_{pkt}} \quad (2\text{-}10)$$

إذا كان الجواب كسريَّاً، فإنَّ القِسم الصَّحيح هُو عَدَد القِطع الوسطَى، أَي الَّتي تَقع بين القِطعة الأُولَى والقِطعة الأَخيرة. أَمَّا الجُزء الكسريُّ، فيُمثِّل القِطعة الأَخيرة.

5. تقسيم حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة، بعد اقتطاع حُمُولة القِطعة الأُولَى، إِلى عَدَد القِطع المُحدَّد بالخَطوة الرَّابِعة.
6. إنشاء القِطع الوسطَى، ما خلا القِطعة الأَخيرة، إذا كان عَدَد القِطع كسريَّاً، وتَتَضمَّن كُلٌّ مِنها التَّرويسات الَّتي ستُوضَع في القِطع وترويسة القِطعة وجُزءاً مِن الحُمُولة النَّاتِجة عن الخَطوة الخامِسة، وإذا لم يَكُن عَدَد القِطع كسريَّاً، تَكُون القِطعة الأَخيرة مُطابِقةً في طُولِها لِلقِطع الوسطَى.
7. إذا كان عَدَد القِطع كسريَّاً، إنشاء القِطعة الأَخيرة الَّتي يَكُون طُولها مُختلِفاً عن طُول القِطع الوسطَى، وتَتَضمَّن التَّرويسات الَّتي ستُوضَع في القِطع وترويسة القِطعة والقِطعة الأَخيرة مِن الحُمُولة الناتجة عن الخَطوة الخامِسة.
8. تغليف القِطع الوسطَى مع ضَبط قِيمة عَلَم المزيد مِن القِطع إِلى القِيمة 1 في ترويسة القِطعة.
9. تغليف القِطعة الأَخيرة مع ضَبط قِيمة عَلَم المزيد مِن القِطع فيها إِلى القِيمة 0 في ترويسة القِطعة.
10. إرسال رِزم البيانات النَّاتِجة كُلِّها إِلى المَرحلة التَّالِية مِن التَّغليف.

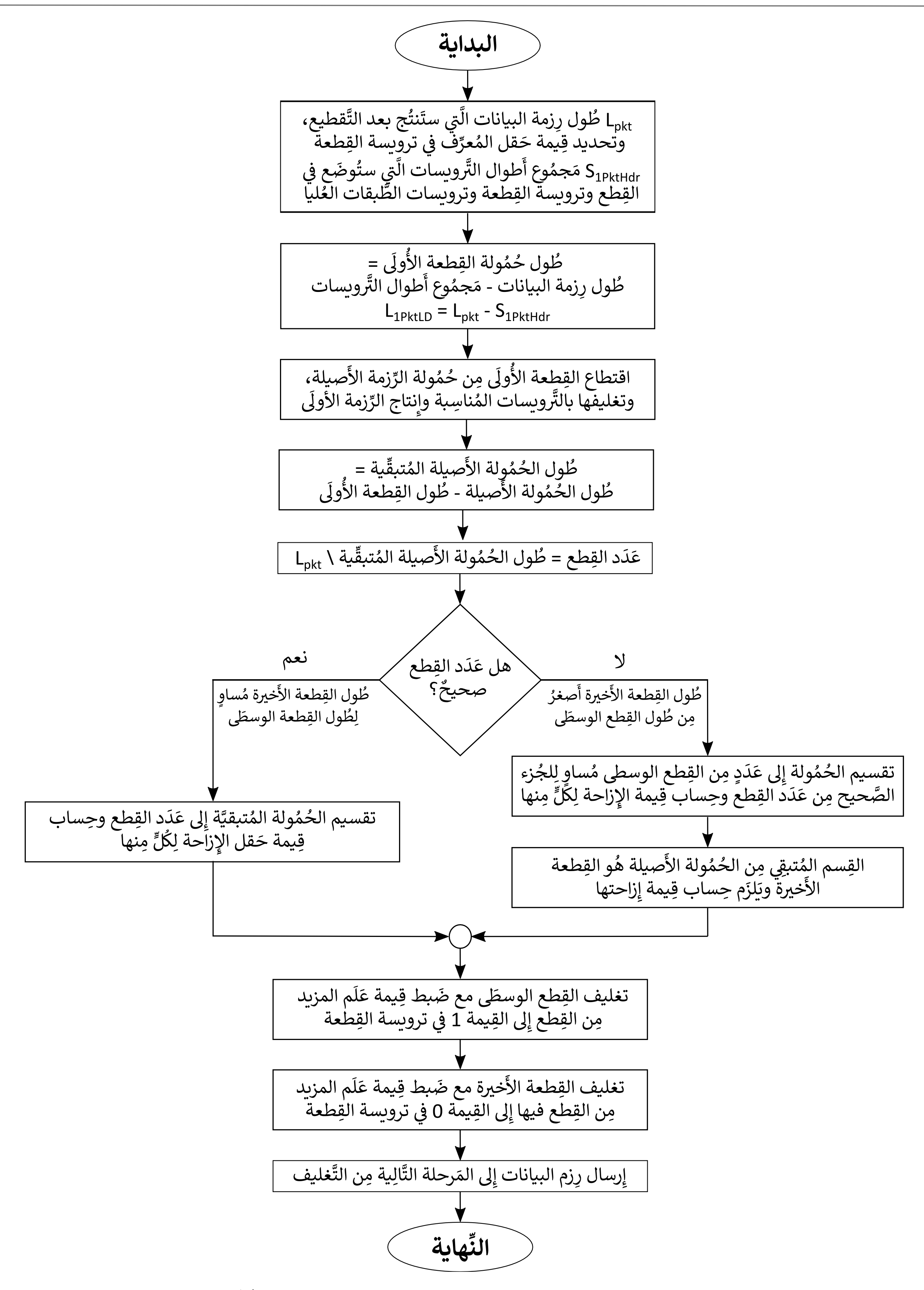
إعادة التَّجميع

تَحصُل عمليَّة إعادة التَّجميع في المُضيف الوِجهة فقط، وفيها تُستَخلص حُمُولة القِطع المُستقبَلة ويُعاد ترتيبها وَفقاً لِمَوقِعها الأَصيل المُحدَّد بقِيمة حَقل إزاحة القِطعة، ويُصار إِلى تشكيل رِزمة البيانات الأَصيلة كما كانت قبل التَّقطيع في المُضيف المَصدَر (الشَّكل (10-16)).



الشَّكل (10-16): بِنية رِزمة بيانات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِجة عن إعادة تجميع القِطع في المُضيف الوِجهة

يُشترَط أَن تَتطابَق قِيم حُقُول عُنوان المَصدَر وعُنوان الوِجهة والمُعرِّف في القِطع كُلِّها الَّتي سيُعيد المُضيف الوِجهة تجميعها. يَبدَأ المُضيف، لِإعادة التَّجميع، بإنشاء ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ثُمَّ يَستخلِص أَيضاً نُسخةً مِن التَّرويسات المَوجُودة في القِطع كُلِّها، ويُضيفها بعد ترويسة البرُوتُوكُول، ويُضيف بعدها أَيضاً ترويسات التَّوسِعة وترويسات الطَّبقات العُليا، إن وُجِدت، مع الانتباه لِضَبط قِيمة حَقل التَّرويسة التَّالِية في كُلٍّ مِنها لِلحفاظ على تتابُع التَّرويسات سليماً. يُحدِّد المُضيف الوِجهةُ بعد ذلك المَوقِعَ النِّسبيَّ لِكُلِّ قِطعةٍ مِن الحُمُولة في رِزمة البيانات الأَصيلة مُشكِّلاً حُمُولة الرِّزمة الأَصيلة، ثُمَّ يَحسُب طُول هذه الحُمُولة ويُضيفه إِلى ترويسة الإصدار السَّادِس. تُغلَّف الحُمُولة أَخيراً



الشَّكل (10-17): مُخطَّطٌ تدفقيٌ يُبيِّن خوارزميَّة عمليَّة التَّقطيع في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

وترويسات الطَّبقات العُليا وترويسات التَّوسِعة وترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت داخِل رِزمة بياناتٍ جديدةٍ تَتطابَق في بِنتيها مع رِزمة البيانات الأَصيلة قبل التَّقطيع.

إدارة حركة البيانات

تعريف تدفُّقات حركة البيانات

يُستعمَل حَقل لافِتة التَّدفُّق في ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت لِتعريف تدفُّقٍ مِن رِزم البيانات. وَفقاً لِمِعيار البرُوتُوكُول، فإنَّ رِزم البيانات تَنتمِي لِتدفُّقٍ مُحدَّدٍ إذا تطابَقت قِيم ثلاثة حُقُولٍ في ترويساتها بعضُها مع بعضٍ هي عُنوان مَصدَرها، وعُنوان وِجهتها وقِيمة حَقل لافِتة التَّدفُّق فيها. تُصنَّف رِزم البيانات في الشَّبكة وَفقاً لِلتَّدفُّق الَّذي تَنتمِي إليه، ثُمَّ تُعامَل على هذا الأَساس، ويَختصُّ البرُوتُوكُول بتعريف آليَّةٍ لِتمييز تدفُّق الرِّزم، أَمَّا نوعية الخِدمات المُقدَّمة لِلتَّدفُّقات، فهي خارِج نِطاق مُحدِّداته.[617]

يَبلُغ طُول حَقل اللَّافِتة 20 بتاً، ويَلزَم أَن يَختار المُضيف المَصدَر قِيمته اختياراً عشوائِيَّاً وفريداً فلا يُولِّد مُعرِّفين مُتطابِقي القِيمة مِن أَجل تدفُّقين مُختلِفين في الوقت نفسِه. إذا كانت قِيمة حَقل اللَّافِتة صِفريَّةً، فهذا يَعنِي أَن رِزمة البيانات لا تَنتمِي لِأَيِّ تدفُّق. وبخلاف القِيمة الصِّفريَّة، فإنَّ أَيَّ قِيمةٍ عَدَديَّةٍ يُمكِن تمثيلها باستعمال 20 بتاً تَصلُح لِلاستخدام مُعرِّفاً لِلتَّدفُّق.[618]

تصنيف حركة البيانات

هي آليَّةٌ لِلتَّمييز بين رِزم بيانات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت اعتماداً على قِيم حَقل صَنف حركة البيانات ذي البِتات الثَّمانية في ترويسة البرُوتُوكُول. تُضبَط هذه القِيم في العُقدة المَصدَر أَو في العُقَد الَّتي تُعالِج الرِّزمة في أَثناء عُبُورها لِلمَسار. تُمنَح الخِدمات وأَولويَّة المُعالَجة لِلرِّزم، بعد ذلك، بناءً على قِيمة هذا الحَقل.

يُقسَّم حَقل صَنف حركة البيانات إِلى قِسمين هُما: ترميز الخِدمات المُتمايزة،[619] ويَشغُل البتات السِّتة الأَكثر أَهمِّيَّةً مِن الحقل، وبِتين غير مُستعمَلين يَشغَلان المَوقِعين الأَقلَّ أَهمِّيَّةً فيه. تُحدِّد وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 2474 بِنيةً مُحدَّدةً لِقسم مَوقِع التَّرميز هي: bbb000، وفيها تُمثِّل b بِتاً واحِداً قد تَكُون قِيمته 0 أَو 1، ويَسمَح ذلك بإنشاء ثمانية أَصنافٍ مُتمايزةٍ لِرِزم البيانات. يُحجَز التَّرميز "000000" لِيَكُون القِيمة الافتراضيَّة لهذا الحَقل، أَمَّا القِيم السَّبعة الأُخرى، أَي {001000، 010000، 011000، ... 111000}، فهي قابِلةٌ لِلتَّهيئَة وَفقاً لِلحاجة لِتعريف مُستوَيات جُودة الخِدمة المَطلُوبة.[620]

---

[617] انظر ص. 4 في [RFC6437] في ثَبت المَراجِع.

[618] انظر ص. 4 في المرجع السَّابِق.

[619] أَصل الاسم Differentiated services codepoint.

[620] انظر ص. 11-13 في [RFC2474] في ثَبت المَراجِع.

المُشكِلات

مُرتبطةٌ بتقطيع البيانات

يَنتُج عن استخدام التَّقطيع فِي الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت عَدَدٌ مِن الثَّغرات الأَمنيَّة الَّتي قد تُستخدَم لِشنِّ هَجماتٍ نحو هُجوم القِطعة الصِّغيرة أو هُجوم القِطع المُتراكِبة[621]، وتَختلِف إمكانيَّة شنِّ الهجمات وَفقاً لِنظام التَّشغيل الَّذي يُنفَّذ البرُوتُوكُول فيه.[622]

لم تَمنَع مُحدِّدات الإصدار السَّادِس الأَصيلة، كما في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، إنشاء قِطعٍ مُتراكِبةٍ عند التَّقطيع، أَي مِن المُمكِن أَن يَتكرَّر المَقطع نفسُه مِن الحُمُولة في أكثر مِن قِطعةٍ، على أَن يُعتمَد المَقطَع الوارِد في آخر قِطعةٍ مُستقبَلةٍ عند التَّجميع، يُسبِّب ذلك ثغرةً أَمنيَّةً، ويَسمَح بتنفيذ هُجوم القِطع المُتراكِبة. أُكِّد بوُضُوحٍ لاحِقاً على مَنع تراكِب القِطع عند التَّقطيع في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 5722.[623]

يَقبَل مُضيف الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت أَن تَحتوِي رِزمة البيانات على ترويسة القِطعة مِن غير أَن تَكُون القِطعة ناتِجةً عن عملية تقطيعٍ، وتُسمَّى هذه القِطع بالقِطع الذَّرِّيَّة،[624] وهي تَنتُج في حالاتٍ خاصَّةٍ ناقشها المِعيار الأَصيل لِلبرُوتُوكُول. مع أَنَّ هذه القِطع تَكُون وحيدةً، أَي لا يَلزَم تجميعها مع أَيِّ قِطعٍ أُخرَى، فإِنَّ المُضيف الوِجهة يُعامِلها مُعامَلة القِطع الَّتي تَنتظِر التَّجميع، ما يُسبِّب ثغرةً أَمنيَّةً، فقد يُرسِل المُهاجِم قِطعةً خبيثةً مع قِيمٍ مُناسِبةٍ في ترويسة القِطعة، فتَكُون قِطعةً ذرِّيَّةً تَقبَل التَّجميع مع قِطعٍ أُخرى خبيثةٍ تُرسَل لاحِقاً، وقد ناقَشت الوثيقة RFC 6946 كيفيَّة مُعالَجة القِطع الذَّرِّيَّة لِتلافي هذا النَّوع مِن الهَجمات.[625]

مُرتبِطةٌ بإدارة حركة البيانات

يُمكِن تزوير قِيمة حَقل لافِتة التَّدفُّق في رِزمة البيانات لِتَحصُل على خِدمةٍ مُحدَّدةٍ أَو مُعاملةٍ تفضيليَّةٍ عند مُعالَجتها، ولا طَريقةَ لِحماية حَقل التَّدفُّق مِن العبث، حتَّى ولو اُستعمِلت حِزمة أَمن برُوتُوكُول الإنترنِت،[626] ويُشكِّل هذا ثغرةً أَمنيَّةً. يُستحسَن، لِلتَّعامل مع هذا التَّهديد، أَن تَكُون قِيمة هذا الحَقل عشوائيَّةً أَو شبه عشوائيَّةٍ، فيَصعُب على المُهاجِم تخمين قِيمة المُعرَّف المُستعمَل.[627] يُمكِن أَيضاً أَن تُستخدَم قِيمة حَقل لافِتة التَّدفُّق مِن أَجل إِجراء تحليلٍ لِحركة البيانات في الشَّبكة، أَو لِتَتَبُّع حركةٍ مُحدَّدةٍ لِلبيانات. وحتَّى لو عُمِّيت الرِّسالة، فإِنَّ تعمية قِيمةٍ ثابِتةٍ غير مُتغيِّرةٍ قد تُنتِج قِيماً ثابِتةً في الرِّسالة المُعمَّاة، وهذه مُمارسة خطيرة تُساعِد عند تحليلها في كشف آليَّة التَّعمية أَو في كشف ترتيب البيانات في الرِّسالة.

---

621 انظر قِسم المُشكِلات المُرتبِطة بالتَّقطيع في الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب.

622 انظر المزيد حول تعريف المُشكِلة في [ART47] في ثَبت المَراجِع.

623 انظر [RFC5722] في ثَبت المَراجِع.

624 أَصل الاسم Atomic fragment، انظر ص. 31 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

625 انظر [RFC6946] في ثَبت المَراجِع.

626 انظر ص. 9-10 [RFC6437] في ثَبت المَراجِع.

627 انظر [WEB36] في ثَبت المَراجِع.

يُوجَد أيضاً هُجومٌ يُسمَّى هُجوم سرقة الخِدمة[628]، وفيه تُغيَّر قِيمة حَقل نوع الخِدمة في رِزمة بياناتٍ ما مِن أَجل زيادة أَولويتها أَو رفع جُودة الخِدمة المُقدَّمة لها. ويُمكِن أَن يُشنَّ هُجُوم حَجب الخِدمة مِن خلال تغيير قِيمة حَقل صَنف الخِدمة، يَهدُف لِجَعل رِزمة بياناتٍ أَو مَجمُوعة رِزمٍ تَحصُل على جُودة خِدمةٍ أَقلَّ مِن الجُودة المُتوقَّعة لها، وقد يُسبِّب هذا تَأخيراً زمنيَّاً في وُصُولها إلى هدفها أَو التَّخلُّص مِنها في الوِجهة.[629]

برُوتُوكُولاتٌ رديفةٌ

برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنت لِلإصدار السَّادِس[630]

هُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت وجُزءٌ مُدمَجٌ مِنه، طُوِّر بالتَّوازي معه، وصَدَر مِعياره الأَوَّل مع مِعيار الإصدار السَّادِس في شهر دِيسمبَر مِن العام 1995م، ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1885.[631] تَأثَّر هذا البرُوتُوكُول ببرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم المُخصَّص لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، والَّذي سَبق ونُوقِش في الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب، وقد خُصِّص الفصل الحادِي عَشر مِن الكِتاب لِمُناقشة هذا البرُوتُوكُول بالتَّفصيل.

تَستعمِل العُقَد الَّتي تُشغِّل الإصدار السَّادِس برُوتُوكُولَ رسائِل التَّحكُّم لِلتَّبليغ عن الأَخطاء الحاصِلة في أثناء مُعالَجة رِزم البيانات ولِأَداء وظائِفَ أُخرَى مُرتبِطةٍ بطَبقة الشَّبكة نحو تشخيص المُشكِلات باستعمال أَداة تَتَبُّع المَسار، ويَلزَم أَن يَكُون برُوتُوكُولَ رسائِل التَّحكُّم مَدعُوماً دَعماً كامِلاً في العُقد الَّتي تُشغِّل الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت كُلِّها.[632]

يُعرِّف البرُوتُوكُول ترويسةً خاصَّةً به طُولها 4 بايتاتٍ، تُضاف بعد ترويسة الإصدار السَّادِس. لهذه التَّرويسة مُعرِّفٌ مُميِّزٌ قِيمته 58، ويَلزَم أَن يُستعمَل في حَقل التَّرويسة التَّالِية في داخِل التَّرويسة الَّتي تَسبُق ترويسة هذا البرُوتُوكُول. يُعرِّف المِعيار الأَصيل لِلبرُوتُوكُول أَيضاً أَربع رسائِلَ إبلاغٍ عن الأَخطاء وثلاث رسائِلَ إعلامٍ.[633] أُضيفت لاحِقاً رسائِلُ عديدةٌ طُوِّرت لِأَداء وظائِفَ مُختلِفةٍ نحو رِسالة اِلتماس المُوجِّه ورِسالة اكتشاف الجيران الَّلتان عَرَّفهما برُوتُوكُول اكتشاف الجيران.[634]

صَدَر تحديثٌ ثانٍ لِلبرُوتُوكُول في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 2463 في شهر دِيسمبَر مِن العام 1998م.[635] صَدَرت الوثيقة RFC 4443[636] بعدها بثمانية سنواتٍ، وهي المِعيار الحاليُّ لِلبرُوتُوكُول وتَتَضمَّن تفصيلاً إضافيَّاً يَشمُل الثَّغرات

[628] أَصل الاسم Theft of service.

[629] انظر ص. 15 في [RFC2474] في ثَبت المَراجِع.

[630] أَصل الاسم Internet Control Message Protocol for internet protocol version 6، اختصاراً ICMPv6.

[631] انظر [RFC1885] في ثَبت المَراجِع، ولاحِظ، مِن أَجل تبيُّن العلاقة بين البرُوتُوكُولين، أَنَّ أَوَّل معايير الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت نُشِر تحت الاسم الرَّمزيِّ RFC 1883.

[632] انظر ص. 3 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

[633] انظر ص. 2 في [RFC1885] في ثَبت المَراجِع.

[634] انظر [WEB32] في ثَبت المَراجِع.

[635] انظر [RFC2463] في ثَبت المَراجِع.

[636] انظر [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

الأَمنيَّة الَّتي يُمكِن استعمالها لِشنِّ هَجماتٍ بواسطة البرُوتُوكُول وكيفيَّة الوقاية مِنها ومَجمُوعةً مِن الاعتبارات اللَّازِمة لِهيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة مِن أَجل تعريف أَنواع رسائِلَ جديدةٍ.

برُوتُوكُول اكتشاف الجيران[637]

هُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، يَنشُط في الطَّبقتين الثَّانِية والثَّالِثة وَفقاً لِنَمُوذج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة، ويُقدِّم خِدمات التَّعرُّف على المُوجِّهات والتَّعرُّف على الجيران وإِعادة التَّوجيه. طُرِح أَوَّل مِعيارٍ لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران في شهر أَغسطس مِن العام 1996م، ووُصِف أَوَّلاً في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1970.[638]

يُعرِّف هذا البرُوتُوكُول خَمساً مِن رسائِلَ برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت هُنَّ: رِسالة إِعادة التَّوجيه وزوجين مِن الرَّسائِل لِاكتشاف عناوين المُوجِّهات في الشَّبكة المَحلِّيَّة، هُما رِسالتا اِلتماس المُوجِّه والإعلان عنه، وزوجين لاكتشاف عناوين الجيران، هُما رِسالة التماس الجار ورِسالة الإعلان عنه، وأَدى البرُوتُوكُول بالزَّوج الأَخير وظيفة اقتران العناوين بين الطَّبقتين الثَّالِثة والثَّانِية مع الإصدار السَّادِس، وهي الوظيفة نفسُها الَّتي يُؤَدِّيها برُوتُوكُول اقتران العناوين مع الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[639]

طُوِّرت أَشكالٌ مُتنوِّعةٌ مُشتقَّةٌ مِن هذا البرُوتُوكُول، مِنها برُوتُوكُول اكتشاف الجيران العكسيِّ الَّذي يُؤَدِّي وظيفة اقتران العناوين العكسيَّة بين الطَّبقتين الثَّانية والثَّالِثة، وُصِف البرُوتُوكُول في الوثيقة RFC 3122 بأَنَّه توسِعةٌ لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران.[640] أَمَّا برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الآمن، فهُو يُعرِّف آليَّاتٍ آمنةً لِتبادل بيانات الشَّبكة وَفقاً لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران، وقد وُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 3971.[641]

صَدَر تحديثٌ لِلمِعيار الرَّسميِّ في دِيسمبَر مِن العام 1998م، وحَملت وثيقته الاسم الرَّمزيَّ RFC 2461. ثُمَّ صَدَرت الوثيقة RFC 4861 في شهر سِبتمبَر مِن العام 2007م،[642] وهي المِعيار الحاليُّ لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران.

برُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتيِّ[643]

هُو برُوتُوكُول اتِّصالٍ يَعمَل على مُستوَى الطَّبقة الثَّالِثة وَفقاً لِنَموذَج الرَّبط البينيِّ لِلأَنظمة المَفتُوحة. يُدير البرُوتُوكُول المَجمُوعات الخاصَّة بالبثِّ المَجمُوعاتيِّ لِرِزَم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وبالتَّحديد عمليَّة اكتشاف أَعضاء المَجمُوعات في الشَّبكات المَحلِّيَّة، وتحديد ما هي المَجمُوعات الَّتي يَهتمُّ أَعضاؤُها باستقبال الرِّزم.[644]

---

[637] أَصل الاسم Neighbor Discovery Protocol، اختصاراً NDP.

[638] انظر [RFC1970] في ثَبت المَراجِع.

[639] انظر ص. 11 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

[640] أَصل الاسم Inverse neighbor discovery protocol، انظره في [RFC3122] في ثَبت المَراجِع.

[641] أَصل الاسم SEcure Neighbor Discovery protocol، اختصاراً SEND، انظره في [RFC3971] في ثَبت المَراجِع.

[642] انظر الوثيقتين في [RFC2461] و[RFC4861] على التَّرتيب في ثَبت المَراجِع، ورَاجِع الشَّكل (10-1) لِتبيُّن علاقة إِصدارات هذا البرُوتُوكُول مع معايير الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنت ومُلحَقاته.

[643] أَصل الاسم Multicast Listener Discovery، اختصاراً MLD.

[644] انظر ص. 451-453 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

يُقدِّم البرُوتُوكُول مَفهُوماً خاصَّاً بالإصدار السَّادِس هُو مُستمِع البثِّ المَجمُوعاتيّ،[645] وهُو وَفقاً لِلتَّعريف، عُقدةٌ تَرغَب في استقبال رِزم البثِّ المَجمُوعاتيّ. إذا استضاف المُستمِع عُنوان مَجمُوعةٍ ما، أَصبح عُضواً فيها، وبات يَهتمُّ باستقبال رِزمها. يُمكِن أَن يَنضمَّ المُستمِع إلى أَكثرَ مِن مَجمُوعةٍ في الوقت نفسِه. ومِن هُنا حَصل البرُوتُوكُول على اسمه، فالبرُوتُوكُول يُساعِد مُعَدَّات الطَّبقة الثَّالِثة المُتَّصِلة مع الشَّبكة المَحلِّيَّة على اكتشاف وُجُود المُستمِعين فيها. يُوصَف البرُوتُوكُول أَيضاً بأَنَّه غير مُتناظِر،[646] لِأَنَّه يَسلُك سُلُوكاً مُختلِفاً عند تعامله مع المُستمِعين عن ذلك الَّذي يَتَّبِعه مع تجهيزات الطَّبقة الثَّالِثة نحو المُوجِّهات.

يُوجَد إِصداران لِبرُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعي الإنترنِت، وُصِف الأَوَّل في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 2710،[647] وطُوِّر في العام 1999م، وهو مُكافِئٌ وظيفةً لِلإصدار الثَّاني مِن برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت. أَمَّا الآخر، فطُوِّر في العام 2004م، وهُو مَوصُوفٌ في الوثيقة RFC 3810،[648] ويُكافِئ الإصدار الثَّالِث مِن برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنت، ويَدعَم مِيزات إضافيَّةً نحو البثِّ المَجمُوعاتيِّ مُحدَّد المَصدَر.

[645] أَصل الاسم Multicast listener.

[646] أَصل الاسم Asymmetric protocol.

[647] انظر [RFC2710] في ثَبت المَراجِع.

[648] انظر [RFC3810] في ثَبت المَراجِع.



الفصل الحادِي عَشر: برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإِنترِنت

مُقدِّمةٌ

برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت أو برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[649] هُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، يُستعمَل لِلإبلاغ عن وقُوع أخطاءٍ في الشَّبكة ولِتعريف رسائِلَ تُمكِّن عُقد الإصدار السَّادِس مِن تبادُل مَعلُوماتٍ تَخَصُّ الشَّبكة في ما بينها. طُوِّر البرُوتُوكُول في العام 1995م، وطُرِح مِعياره الأوَّل، الَّذي حَمَل الاسم الرَّمزيَّ RFC 1885، بالتَّوازي مع طَرح المِعيار الأوَّل لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

تَأثَّر البرُوتُوكُولُ ببرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم المُخصَّص لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَّذي دُرِس في الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب،[650] فاعتمد نَمُوذج عملٍ مُشابِهاً له، مُعرِّفاً مَجمُوعتين مِن الرَّسائِل هُما رِسائِل الإبلاغ عن الأخطاء ورسائِل الإعلام. تُرسَل الأُولى مِن عُقدةٍ تُعالِج رِزمة بياناتٍ ما إلى مَصدَر الرِّزمة لِلإبلاغ عن وقُوع خطَأٍ في أثناء مُعالَجة تلك الرِّزمة. أمَّا المَجمُوعة الأُخرَى، فتكُون غالِباً على شكل زوجين مِن الرَّسائِل تَتَبادَلهما عُقدتان تَدعمان الإصدار السَّادِس. يَكُون الزَّوج الأوَّل رِسالة طَلبٍ، والآخر رِسالة ردٍّ على الطَّلب.

صُمِّم البرُوتُوكُول وَفقاً لِبِنيةٍ تَسمَح له بالتَّوسُّع لِيُغطِّي وظائِفَ جديدةً مِن خلال تعريف أنواعٍ جديدةٍ مِن الرَّسائِل. على سبيل المِثال، عَرَّف برُوتُوكُول اكتشاف الجيران خمس رسائِلَ إضافيَّةٍ لِيُغطِّي مسائِلَ اكتشاف المُوجِّهات واكتشاف الجيران وإعادة التَّوجيه، وعَرَّف برُوتُوكُول مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتيِّ ثلاث رسائِلَ إضافيَّةٍ لِمُساعَدته في اكتشاف مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتيِّ في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ وفي تحديد ما هي المَجمُوعات الَّتي يَهتمُّون باستقبال رزمها.

يُمكِن أن تُستعمَل رسائِل البرُوتُوكُول لِشنِّ مَجمُوعةٍ مُتنوِّعةٍ مِن الهَجمات في شَبكات البيانات تَشمُل: هَجمات انتحال الهُوية وهَجمات إعادة التَّوجيه وهَجمات التَّلاعُب بالمُحتوَى وهَجمات حَجب الخِدمة والهَجمات على الطَّبقات العُليا مِن نَمُوذج الاتِّصال المُستعمَل. يُمكِن التَّعامل مع هذه الهَجمات باستعمال المُصادَقة وبتعمية رسائِل البرُوتُوكُول ما أمكن ذلك، وأيضاً باستخدام ترويسة تَأمين الحُمُولة بالتَّغليف الَّتي يُعرِّفها الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

يَبدَأ هذا الفصل بعَرض نبذةٍ تاريخيَّةٍ عن برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس، يَلِي ذلك تناولٌ لِمبدَأ عمله ثُمَّ شَرحٌ لِأنواع رسائِله: الإبلاغ عن الخطَأ والإعلام، وتفصيلٌ لِبِنية أهمِّها، ويُختَم الفصل باستعراض المُشكِلات الَّتي وَاجهت تنفيذ البرُوتُوكُول في شَبكات البيانات.

نبذةٌ تاريخيَّةٌ

يَدعَم برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهُو غير مُتوافِقٍ مع الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. لِذلك، ومع طَرح الإصدار السَّادِس، طُوِّرت نُسخةٌ جديدةٌ مِن برُوتُوكُولٌ رسائِل التَّحكُّم مُخصَّصةٌ

[649] أصل الاسم Internet Control Message Protocol for Internet Protocol Version 6، اختصاراً ICMPv6.

[650] يُستحسَن مُراجعة الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب قبل المُضي قُدماً في هذا الفصل لِلوقُوف على تفاصيل مَبدَأ العمل والتَّطبيقات الَّتي ذُكِرت فيه ولم تُذكَر في هذا الفصل تجنُّباً لِلتِّكرار.

لِدعمه، وسُمِّي النَّاتِج برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[651] وُصِف الإصدار الأَوَّل مِن هذا البرُوتُوكُول في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1885، الَّتي صَدَرت في شهر دِيسمبر مِن العام 1995م.[652]

كان التَّصوُّر الأَوَّليُّ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم الجديد يَشمُل توسيعه أَيضاً لِيُنجِر وظائِفَ برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت. فلا تَعُود الحاجة مَوجُودةً لِتشغيل البرُوتُوكُولين معاً إلى جانِب الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت،[653] ولكن هذه الفكرة لم تُدعَم في الإصدارات اللَّاحِقة، فقد طُوِّر برُوتُوكُولٌ خاصٌّ لِأَداء هذه المَهمَّة هُو برُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعِي البثِّ المَجمُوعاتيِّ[654].

نُشِر الإصدار الثَّانِي مِن برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في عام 1998م (الشَّكل (10-1))، تحت الاسم الرَّمزيّ RFC 2463.[655] أَمَّا الإصدار الثَّالِث فنُشِر في العام 2006م، وحَمَلت وثيقة طَلب التَّعليقات خاصَّته الاسم الرَّمزيَّ RFC 4443.[656]

عَرَّف البرُوتُوكُول في إصداره الأَوَّل تسعَ رسائِلَ، صُنِّفت في مَجمُوعتين: رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء وعَدَدها أَربعٌ، ورسائِل الإعلام وعَدَدها خمسٌ. ثُمَّ انخفض عَدَد الرَّسائِل لِيُصبِح سِتةً فقط في الإصدار الثَّانِي لِلبرُوتُوكُول: أَربعٌ لِلإبلاغ عن الأَخطاء ورِسالَّتي إعلامٍ، بعد أَن أُبطِلت ثلاث رسائِلَ لِإدارة المَجمُوعة، فلم تُدعَم هذه الفكرة في الإصدارات اللَّاحِقة كما تَقدَّم.[657] أَمَّا الإصدار الثَّالِث، فعَرَّف إحدى عَشر رِسالةً، هي سَبع رسائِلَ لِلأَخطاء وخمس رسائِلَ لِلإعلام.

يُشابِه برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس قرينه المُوجَّه لِدعم الإصدار الرَّابِع، ففي حين يُشكِّل الإصدار الأَصيل جُزءاً مُدمَجاً مِن الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، فإنَّ الإصدار الجديد هُو جُزءٌ مُدمَجٌ مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ويَلزَم أَن يُدعَم في كُل عُقدةٍ تُشغِّل الإصدار السَّادِس، وهُو يُقدِّم أَيضاً وظائِفَ الإبلاغ عن الأَخطاء ويَدعَم أَدواتٍ لِلمُساعدة في تشخيص مُشكِلات الشَّبكة نحو أداة التَّحقُّق مِن الاتِّصال.

---

[651] لا يَعنِي رقم 6 في الاسم الرَّمزيِّ ICMPv6 أَنَّ هذا هُو الإصدار السَّادِس مِن البرُوتُوكُول، لكنَّه يُشير لِكونه مُخصَّصاً لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

[652] يَعكِس الاسم الرَّمزيُّ لِوثيقة الإصدار الأَوَّل مِن البرُوتُوكُول العَلاقة الَّتي تَربُطه مع الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، فقد كانت الوثيقة النَّاظِمة لِمعياره إحدَى ثلاث وثائِقَ صَدَرت معاً، والاثنتين الأُخريين هُما: الوثيقة RFC 1883، وخُصِّصت لِمُحدِّدات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، والوثيقة RFC 1884، وخُصِّصت لِشرح بِنية عُنوان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ويُمكِن الاطِّلاع عليهما في [RFC1883] و[RFC1884] و[RFC1885] في ثَبت المَراجِع.

[653] انظر ص. 2 في [RFC1885] في ثَبت المَراجِع.

[654] أَصل اسمه Multicast Listener Discovery، اختصاراً MLD، طُوِّر في عام 1999م، ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 2710. انظرها في [RFC2710] في ثَبت المَراجِع.

[655] يَعكِس الاسم الرَّمزيُّ لِوثيقة الإصدار الثَّانِي مِن البرُوتُوكُول العَلاقة الَّتي تربُطه مع الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنت، فقد كانت الوثيقة النَّاظِمة لِمعياره جُزءاً مِن أَربع وثائِقَ صَدَرت معاً، والثَّلاثة الأُخريات هُنَّ: الوثيقة RFC 2460، وخُصِّصت لِمُحدَّدات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، والوثيقة RFC 2461، وخُصِّصت لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران الَّذي سيُدرَس في الفصل الثَّانِي عَشر مِن هذا الكِتاب، والوثيقة RFC 2462، وخُصِّصت لِلتَّهيئة الذَّاتيَّة الآليَّة لِعناوين الإصدار السَّادِس مِن البرُوتُوكُول الَّتي نُوقِشت في الفصل العاشِر ، ويُمكِن الاطِّلاع على الوثائِق في [RFC2460] و[RFC22461] و[RFC2462] على التَّرتيب في ثَبت المَراجِع.

[656] انظرها في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

[657] انظر ص. 3 في [RFC2463] في ثَبت المَراجِع.

مَبدَأ العمل

يُقدِّم برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس، بصورةٍ مُشابِهةٍ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع، الوظائِف التَّالِية: الإبلاغ عن الأَخطاء وآليَّةً لِلإعلام عن المَعلُومات في الشَّبكة، بالإضافة لمُساهَمته في إنجاز في وظائِف تُعرِّفها برُوتُوكُولاتٌ أُخرَى، مِنها مثلاً برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الَّذي يُعرِّف آليَّةً لِإعادة التَّوجيه على مُستوَى المَخرَج الافتراضيِّ في الشَّبكة المَحلِّيَّة لمَصدَر رِزم البيانات.

تُصنَّف رسائِل البرُوتُوكُول وَفقاً لِآليَّة عملها إلى نوعين (الشَّكل (6-2)):[658]

- رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء: ويُمكِن أن تُرسَل مِن الوجهة النِّهائِية لِرزمة بياناتٍ أَو مِن أيِّ عُقدةٍ تُعالِجها في أثناء عبورها لِمَسارها لِلإبلاغ عن وقُوع خطَأٍ عند مُعالجتها، ولا يُردُّ على رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء أَبداً.
- رسائِل الإعلام: وتَضمُّ أَزواجاً مِن الرَّسائِل، رِسالة طَلبٍ ورِسالة ردٍ عليه لِكُلِّ وظيفةٍ يُراد إنجازها.

صُمِّم برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس بطريقةٍ تَسمَح بتوسُّعه لِيؤَدِّي وظائِفَ جديدةً عند الحاجة. بناءً على ذلك، نُشِرت، بعد طَرح مِعيار البرُوتُوكُول، عَدَدٌ مِن التَّوسِعات الَّتي تُعرِّف رسائِلَ جديدةً لِلبرُوتُوكُول. على سبيل المثال، يُعرِّف برُوتُوكُول اكتشاف الجيران خمس رسائِلَ جديدةٍ، ستُدرَس بالتَّفصيل في ما سيَأتي مِن هذا الفصل، ويَستعمِلها لأَداء وظائِفَ مُحدَّدةٍ نحو التماس المُوجِّهات في الشَّبكة المَحلِّيَّة أَو إعادة التَّوجيه، ويُعرِّف برُوتُوكُول مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتِيِّ ثلاث رسائِلَ جديدةٍ لِتحديد وجُود مُستمِعين لِلبثِّ المَجمُوعاتِيِّ لِلإصدار السَّادِس ولِتحديد المَجمُوعات الَّتي يَهتمُّون بالاستماع إليها.[659]

بِنية التَّرويسة

تُشابِه بِنيةُ ترويسة البرُوتُوكُول المُخصَّص لِدعم الإصدار السَّادِس بِنيةَ ترويسة البرُوتُوكُول المُخصَّص لِدعم الإصدار الرَّابِع، وهِي تَتَكوَّن مِن نوعين مِن الحُقُول:

- الحُقُول الدَّائِمة، عَدَدها ثلاثة حُقُولٍ، وتُوجَد في ترويسات رسائِل البرُوتُوكُول كُلِّها، وهِي:[660]
  - حَقل النَّوع، طُوله 8 بتاتٍ، ويُحدِّد نوع الرِّسالة وبالتَّالِي بِنيتها. خُصِّص مَجال القِيم الصَّحيحة مِن 0 حتَّى 127 لِرسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء، ومَجال القِيم الصَّحيحة مِن 128 حتَّى 255 لِرسائِل الإعلام. وتُشرِف هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على ضَبط القِيم المِعيارية لِهذا الحَقل.[661]

---

[658] أصل الاسمين على التَّرتيب: Error messages وInformational messages.

[659] انظر ص. 2-4 في [RFC2710] في ثَبت المَراجِع.

[660] انظر ص. 2 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

[661] انظر [WEB37] في ثَبت المَراجِع.

- حَقل التَّرميز، طُوله 8 بتاتٍ، ويَتحدَّد مَعناها وَفقاً لِنوع الرِّسالة، ويُستعمَل هذا الحَقل لِتعريف أَنواعٍ فَرعيَّةٍ أكثر تخصُّصاً مِن الرَّسائِل ضِمن كُلِّ نوعٍ رئِيسٍ. تُشرِف هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على ضَبط القِيم المِعياريَّة لهذه الحَقل أَيضاً.[662]
- حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ، طُوله 16 بتاً، ويُستعمَل لِتحديد فيما لو حَصَلت أَخطاءٌ في قِيمة البيانات في أثناء نقلها عبر الشَّبكة.

- حُقُول المُحتوَى، وهي مُتغيِّرة العَدَد والبِنية، وتَختلِف وَفقاً لِلرِّسالة والهدف الَّذي تُستعمَل مِن أَجله.

الجدول (1-11): أهمُّ رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت مُرتَّبةً وَفقاً لِلنَّوع

قِيمة حَقل النَّوع	اسم الرِّسالة بالعربيَّة	اسم الرِّسالة بالإنكليزيَّة	تصنيف الرِّسالة
1	تعذَّر بُلُوغ الوِجهة	Destination unreachable message	إبلاغٌ عن خطَأٍ
2	رِزمةٌ مِفرطةٌ في الطُّول	Packet too big	إبلاغٌ عن خطَأٍ
3	نفاد الزَّمن	Time exceeded	إبلاغٌ عن خطَأٍ
4	مُشكِلةٌ في مُحدِّد	Parameter problem	إبلاغٌ عن خطَأٍ
128	توليد الصَّدَى	Echo request	إعلامٌ
129	الصَّدَى	Echo reply	إعلامٌ
133	اِلتماس المُوجِّه	Router solicitation	إعلامٌ
134	الإعلان عن المُوجِّه	Router advertisement	إعلامٌ
135	اِلتماس الجار	Neighbor solicitation	إعلامٌ
136	الإعلان عن الجار	Neighbor advertisement	إعلامٌ
137	إعادة التَّوجيه	Redirect	إعلامٌ

رسائِل البرُوتُوكُول

تُحدِّد العُقدة، الَّتي تُولِّد رسائِل البرُوتُوكُول، عُنوان مَصدَرها ووِجهتها قبل حِساب قِيمة حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ. قد يَكُون لِلعُقدة المَصدَر أكثرُ مِن عُنوانٍ، ويُحدَّد عُنوان مَصدَر الرِّسالة عندها كما يَأتي:[663]

- إذا كانت الرِّسالة رَدَّاً على رِسالة طَلبٍ أُرسِلت إِلى أَحد العناوين الفريدة لِلعُقدة، فيَلزَم أَن يَكُون هذا العُنوان هُو عُنوان المَصدَر في رِسالة الرَّدِّ.
- إذا كانت الرِّسالة رَدَّاً على رِسالة طَلبٍ أُرسِلت إِلى أَحد العناوين غير الفريدة لِلعُقدة، نحو عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ أو عُنوان بثٍّ نحو الأَقرب، فإِنَّ عُنوان المَصدَر يَلزَم أَن يَكُون أَحد العناوين الفريدة لِلعُقدة.

[662] انظر [WEB37] في ثَبت المَراجِع.

[663] انظر ص. 5 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

- في الحالات الأُخرى كُلِّها، يُختار عُنوان المَصدَر بالطَّريقة نفسِها الَّتي يُختار فيها عُنوان مَصدَر أيِّ رِزمةٍ أُخرَى لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ستُرسِلها العُقدة المَصدَر إلى تلك الوِجهة.

رسائِل الإبلاغ عن الأَخطاء

هي مَجمُوعةٌ مِن رسائِل البرُوتُوكُول الَّتي تُرسَل مِن عُقَدٍ وسيطةٍ على مَسار الرِّزمة أَو مِن وِجهتها النِّهائِيَّة نحو مَصدَرها لِإبلاغه بوقُوع خطَإٍ في أَثناء مُعالَجة الرِّزمة. يُحدِّد مِعيار البرُوتُوكُول عَدَداً مِن الحالات الَّتي لا تُولَّد فيها هذه الرَّسائِل، وهي الحالات الَّتي ستَكُون فيها ردّاً على استقبال:[664]

1. رِسالة إبلاغٍ عن خطَإٍ، فلا يُردُّ على رسائِل الإبلاغ عن الخطَأ أَبداً.
2. رِسالة إعادة توجيهٍ، وهي رسالة إعلامٍ ستُدرَس في ما سيَأتي مِن هذا الفصل.
3. رِسالة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ، فلا يُردُّ على رِسالة البثِّ المَجمُوعاتيِّ إلا في حالتين فقط:
   - إذا كانت الرِّسالة هي رِسالة رِزمةٍ مُفرِطةٍ في الطُّول، لِأَنَّ هذه الرِّسالة هي جُزءٌ مِن آليَّة اكتشاف قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى لِلمَسار، ولا بُدَّ مِن الرَّدِّ عليها لِإنجاح عمل الآليَّة.
   - إذا كانت الرِّسالة هي رِسالة مُشكِلةٍ في مُحدَّدٍ، وكانت قِيمة حَقل التَّرميز فيها هي 2، وهي رِسالةٌ لِلإبلاغ عن خيارٍ غير مَعرُوفٍ في ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.
4. رِسالة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ على مُستوَى طَبقة الوَصلة، وتُستثنَى الحالتان المُشار إليهما في البند الثَّالِث أَيضاً.
5. رِسالة بثٍّ عامٍّ على مُستوَى طَبقة الوَصلة، وتُستثنَى الحالتان المُشار إليهما في البند الثَّالِث أَيضاً.
6. أيِّ رِزمةٍ لا يُحدِّد عُنوان مَصدَرها عُقدةً فريدةً.
7. رِسالة إبلاغٍ عن خطَإٍ مَجهُولة النَّوع في مَصدَر رِزم البيانات، ويَلزَم في هذه الحالة تمريرها إلى برُوتُوكُول الطَّبقة العُليا لِمُعالَجتها، إن أَمكنَ ذلك. وإن تَعذَّر، فيَلزَم التَّخلُّص مِنها.

تعذُّر بُلُوغ الوِجهة

تُولَّد هذه الرِّسالة في مَصدَر رِزمة البيانات أَو في أَيِّ مُوجِّه على مَسارها إذا تعذَّر إيصال الرِّزمة إلى وِجهتها لِأَيِّ سببٍ ما خلا الازدحام. يَتكوَّن حَقل المُحتوَى في هذه الرِّسالة مِن حَقلٍ غير مُستعمَلٍ بطُول 32 بتاً، يَليه أَطول قِسمٍ يُمكِن نسخه مِن الرِّزمة الَّتي سببَّت توليد هذه الرِّسالة مِن غير أَن يَتجاوز الطُّول قِيمة وحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت (الشَّكل (11-1)).[665]

0	8	16 31
النَّوع = 1	التَّرميز	التَّحقُّق الجمعي
غير مُستعمَلٍ		
أَكبرُ قدرٍ مُمكِنٍ مِن رِزمة الإصدار السَّادِس الَّتي سبَّبت توليد هذه الرِّسالة		

الشَّكل (11-1): بِنية رِسالة تَعذُّر بُلُوغ الوِجهة

[664] انظر ص. 6-7 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

[665] انظر ص. 8-9 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

تَكُون قِيمة حَقل النَّوع في هذه الرِّسالة هي 1 دائِماً، ولحَقل التَّرميز سبع قِيمٍ يُبيُّنها الجدول (11-2) مع معانيها.

الجدول (11-2): قِيم حَقل التَّرميز في رِسالة تعذُّر بُلُوغ الوِجهة[666]

قِيمة حَقل التَّرميز	الحالة	الوصف
0	لا مَسار نحو الوِجهة	لم تَجِد العُقدة الَّتي تُعالِج الرِّزمة مَساراً نحو وِجهتها في جدول توجيهها
1	الاتِّصال مع الوِجهة مَحظُورٌ إشرافيَّاً	يُحظَر الاتِّصال مع الوِجهة، مثلاً لِأَسبابٍ تَتَعلَّق بالأَمن نحو وُجود جدار حمايةٍ[667]
2	خارِج مَجال عُنوان المَصدَر	تَحصُل هذه الحالة عندما يَكُون عُنوان الوِجهة خارِج مَجال عُنوان المصدر، مثلاً إذا كان عُنوان المَصدر فريداً مَحلِّيَّاً وكان عُنوان الوِجهة فريداً عالَميَّاً
3	تعذُّر بُلُوغ العُنوان	الحالة العامَّة، تُستعمَل عندما لا يُمكِن إِيصال رِزمة البيانات لِلوِجهة لِسببٍ مُغايرٍ لِما ذُكِر في الحالات الأُخرَى
4	تعذُّر بُلُوغ المَنفَذ	إذا لم يُوجَد برُوتُوكُول نقلٍ يَدعَم رقم مَنفَذ الوِجهة في الوِجهة النِّهائِيَّة
5	إخفاق عُنوان المَصدَر في سِياسة الدُّخول أَو الخُرُوج[668]	أَخفَقت رِزمة البيانات في تجاوز سِياسة الدُّخول أَو سِياسة الخُرُوج المُطبَّقة على المَنفَذ
6	رَفض المَسار إلى الوِجهة	تُستعمَل عندما يَكُون التَّوجيه نحو الوِجهة مَرفُوضاً، مثلاً مُنِع المُوجِّه مِن توجيه الرِّزم نحو بادِئَةٍ ما تَتَضمَّن عُنوان الوِجهة لِأَسبابٍ تَتَعلَّق بالأَمن
7	خطَأٌ في ترويسة التَّوجيه	تُستعمَل عندما يَتعذَّر إيصال رِزمة بياناتٍ تُوجَّه تِبعاً لِلمَصدَر بمُقتضى ما يُوجَد في ترويسة التَّوجيه
8	قُدرات مُعالجةٍ مَحدُودةٍ	تَعذَّرت مُعالَجة رِزمة البيانات لِأَنَّ التَّرويسات فيها بالِغة الطُّول وتَفُوق قُدرة العُقدة على مُعالَجتها

رِزمةٌ مُفرِطةٌ في الطُّول

يُرسِل مُوجِّهٌ يُعالِج رِزمة بياناتٍ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت هذه الرِّسالة إذا لم يَكُن بإمكانه إرسال الرِّزمة إلى وِجهتها التَّالِية على المَسار لِأَنَّ طُولها أَكبرُ مِن قِيمة وحدة النَّقل العُظمَى في الشَّبكة حيث تُوجَد تلك الوِجهة.[669] تُستعمَل بيانات هذه الرِّسالة ضِمن عمليَّة اكتشاف قِيمة وحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالمَسار.[670]

[666] وُصِفت الحالات السَّبعة الأُوَل في ص. 8-10 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع، والحالة المُحدَّدة بالقِيمة 7 في ص. 138 في [RFC6550]، والمُحدَّدة بالقِيمة 8 في ص. 12 في [RFC8883].

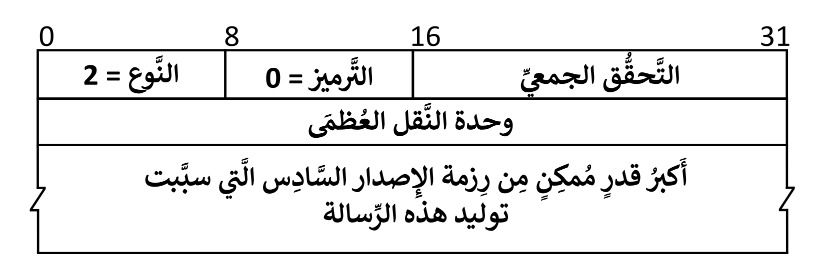
[667] أَصل الاسم Firewall، ووَرد المُصطلَح مُعرَّباً إلى حاجز حمايةٍ في ص.121 في [BKA01] في ثبت المَراجِع، وهُو حاجزٌ مُنشَأ بواسطة عَتاد الحاسِب أو برمجيَّاته أو كلاهما معاً، لِمُراقبة تدفُّق حركة البيانات والتَّحكُّم بها مِن شَبكةٍ أُولَى، غالِباً ما تَكُون الإنترنِت، إلى شَبكةٍ أُخرَى غالِباً ما تَكُون شَبكةً مَحلِّيَّةً، انظر ص. 150 في [BKE01].

[668] أَصل الاسم Ingress/egress policy.

[669] انظر ص. 10 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

[670] انظر تفصيل العمليَّة في [RFC1981] في ثَبت المَراجِع.

تَكُون قِيمة حَقل النَّوع في هذه الرَّسائِل هي 2 دائِماً، أَمَّا حَقل التَّرميز فيُضبَط إِلى القِيمة 0 في مَصدَر الرِّسالة ويُهمَل في وِجهتها (الشَّكل (11-2)). تَحوِي التَّرويسة أَيضاً حَقلاً لِوحدة النَّقل العُظمَى بطُول 32 بِتاً، يَليه أَطول قِسمٍ يُمكِن نَسخه مِن الرِّزمة الَّتي سَبَّبت توليد الرِّسالة مِن غير أَن يَتجاوز طُول الرِّسالة قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.



الشَّكل (11-2): بِنية رِسالة رِزمةٍ مُفرِطةٍ في الطُّول

نفاد الزَّمن

تُستعمَل لِلإبلاغ عن خطَأين يَحصُلان عند مُعالَجة رِزم بيانات الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت:[671]

1. إذا اِستقبَلت عُقدةٌ رِزمة بياناتٍ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وكانت قِيمة حَقل عَدَد القَفزات فيها صِفراً، أَو إِذا أَصبحت قِيمة هذ الحَقل 0 بعد مُعالَجة الرِّزمة.
2. إذا نَفِد مُؤَقِّت انتظار تجميع قِطع رِزمة بياناتٍ ما ولَمَّا تَصِل القِطع كُلُّها بعدُ.

تَكُون قِيمة حَقل النَّوع في رسائِل نفاد الزَّمن هي 3 دائِماً، ولِحَقل التَّرميز قِيمتان هُما 0 مِن أَجل حَقل عَدَد قفزاتٍ صِفريٍّ و1 مِن أَجل نفاد مُؤَقِّت انتظار. يَتكوَّن حَقل المُحتوَى في بِنية الرِّسالة مِن حَقلٍ غير مُستعمَلٍ بطُول 32 بتاً يَليه أَطولُ قِسمٍ يُمكِن نسخه مِن الرِّزمة الَّتي سَبَّبت توليد هذه الرِّسالة مِن غير أَن يَتجاوَز طُول الرِّسالة وحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

0	8	16	31
النَّوع = 3	التَّرميز	التَّحقُّق الجمعيُ	
غير مُستعمَلٍ			
أَكبرُ قدرٍ مُمكِن مِن رِزمة الإِصدار السَّادِس الَّتي سبَّبت توليد هذه الرِّسالة			

الشَّكل (11-3): بِنية رِسالة نفاد الزَّمن

مُشكِلة في مُحدِّدٍ

إذا صَادفت عُقدةٌ، تُعالِج رِزمة بياناتٍ ما، مُشكِلةً في ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت أَو في إِحدَى ترويسات التَّوسِعة، فلم يَعُد بإِمكانها إِكمال المُعالَجة، فإِنَّها تَتخلَّص مِن الرِّزمة الَّتي تَحتوِي التَّرويسة، ثُمَّ تُرسِل رِسالة الإِبلاغ عن الخطَأ إِلى مَصدَرها.[672]

---

[671] انظر ص. 11 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

[672] انظر ص. 12 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

تَكُون قِيمة حَقل النَّوع في هذه الرِّسالة هي 4 دائِماً، أَمَّا حَقل التَّرميز فيُضبَط بمُقتضَى نوع الخطَأ وَفقاً لِلجدول (11-3).

الجدول (11-3): قِيم حَقل التَّرميز في رِسالة مُشكِلةٍ في مُحدِّدٍ[673]

قِيمة حَقل التَّرميز	الحالة	الوصف
0	خطَأٌ في ترويسة البرُوتُوكُول	خطَأٌ ما في مُعالَجة ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت
1	خطَأٌ في حَقل البرُوتُوكُول التَّالِي	القِيمة المَوجُودة في حَقل البرُوتُوكُول في ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت غير مَعرُوفةٍ
2	خطَأٌ في خِيارات البرُوتُوكُول	عُثِر على خِيارٍ غير مَعرُوف النَّوع في ترويسة الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت
3	خطَأٌ في ترويسات القِطعة الأُولَى	يُوجَد نقصٌ في تَتَابُع التَّرويسات في القِطعة الأُولَى الَّتِي نَتَجت عن تقطيع رِزمة بياناتٍ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت
4	خطَأٌ في مُعالَجة ترويسة التَّوجيه	حَصَل خطَأٌ في أثناء مُعالَجة برُوتُوكُول طَبقةٍ عُليا لِبيانات ترويسة التَّوجيه
5	خطَأٌ في نوع التَّرويسة التَّالِية	لم تَتَمكَّن عُقدةٌ وَسيطة مِن التَّعرُّف على نوع التَّرويسة التَّالِية في رِزمة بياناتٍ ما.
6	ترويسة توسِعةٍ مُفرِطةٍ في الطُّول	تَخلَّصت عُقدةٌ مِن رِزمة بياناتٍ ما لِأَنَّ طُول ترويسة التَّوسِعة يَفُوق قُدرات المُعالَجة في العُقدة
7	تَتابُع ترويسات توسِعةٍ مُفرِطٌ في الطُّول	تَخلَّصت عُقدةٌ مِن رِزمة بياناتٍ ما لِأَنَّ تَتابُع ترويسات التَّوسِعة تَجاوز حدَّ الطُّول المَسمُوح به
8	ترويسات توسِعةٍ أكثرُ مِن المَسمُوح به	تَخلَّصت عُقدةٌ مِن رِزمة بياناتٍ ما لِأَنَّ عَدَد ترويسات التَّوسِعة في التَّتابُع تجاوَز حدَّ الطُّول المَسمُوح به
9	خِياراتٌ أكثرُ مِن المَسمُوح به في ترويسة التَّوسِعة	تَخلَّصت عُقدةٌ مِن رِزمة بياناتٍ ما لِأَنَّ ترويسة توسِعةٍ في الرِّزمة احتوت على عَدَدٍ مِن الخِيارات يَفُوق قُدرات المُعالَجة في العُقدة
10	خِيارٌ مُفرِطٌ في الطُّول	تُرسَل هذه الرِّسالة في حالتين: 1. إذا تَجاوَز طُول ترويسة خِيارات المَسار أَو ترويسة خِيارات الوِجهة الحدَّ المَسمُوح به. 2. إذا تَجاوَز طُول بتات الحَشُو في ترويساتٍ مُتتابِعةٍ لِخِيارات المَسار أَو لِخِيارات الوِجهة الحدَّ المَسمُوح به

الشَّكل (11-4): بِنية رِسالة الإبلاغ عن خطَإٍ في مُحدِّدٍ

673 وُصِفت الحالات الثَّلاثة الأُوَل في ص. 12 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع، والحالة المُحدَّدة بالقِيمة 3 في ص. 5 في [RFC7112]، والمُحدَّدة بالقِيمة 4 في ص. 24 في [RFC8754]، وسائِر القِيم في ص. 6-7 في [RFC8883].

تَحتوِي التَّرويسة أَيضاً حَقل المُؤَشِّر[674] الَّذي يَبلُغ طُوله 32 بتاً، وهُو يَدلُّ على قِيمة الإزاحة عن بداية الرِّسالة لِلبايت الَّذي سبَّبت مُعالَجته الخطَأ ضِمن ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت، يَليه أَطولُ قِسمٍ يُمكِن نسخه مِن الرِّزمة الَّتي سبَّبت توليد هذه الرِّسالة مِن غير أَن يَتجاوَز طُول الرِّسالة قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.

رسائِل الإعلام

تَعمَل هذه الرَّسائِل أَغلبُها بنَمُوذَج الطَّلب والرَّدِّ، وفيه تُولِّد عُقدةٌ ما رِسالة طَلبٍ، وتُرسِلها لِعُقدةٍ أُخرَى تُجيبها برِسالة الرَّدِّ المُناسِبة الَّتي تُحدَّد وَفقاً لِنوع رِسالة الطَّلب. إذا ما اُستقبِلت رِسالة طَلبٍ مَجهُولة النَّوع، فيَلزَم التَّخلُّص مِنها. ولكنَّ بعضاً من هذه الرَّسائِل يُرسَل مِن غير انتظار ردٍّ، نحو رِسالة إعادة التوجيه[675].

توليد الصَّدَى والصَّدَى

يَجرِي تبادل هاتين الرَّسالتين بين عُقدتين تُشغِّلان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، تُسمَّى الأُولَى المَصدَر والأُخرَى الوِجهة. يُرسِل المَصدر رِسالة توليد صدَىً مُحمَّلةً ببياناتٍ اختياريَّة القِيمة واختياريَّة الطُّول إلى الوِجهة الَّتي تَردُّ برِسالة صدَىً فيها حُمُولة رِسالة التَّوليد نفسِها. يَلزَم أَن تَكُون عناوين المَصدَر والوِجهة مُتعاكِسةً في رِزمة برُوتُوكُول الإنترنِت الَّتي تُغلِّف الرِّسالتين، أَي يَكُون عُنوان وِجهة رِسالة التَّوليد هُو عُنوان مَصدَر رِسالة الصَّدَى وعُنوان مَصدَر رِسالة التَّوليد هُو عُنوان وِجهة رِسالة الصَّدَى.[676]

لِرسالَتي توليد الصَّدَى والصَّدَى البِنية نفسُها (الشَّكل (11-5)): حَقل النَّوع أَوَّلاً، ويُضبَط إلى 128 في رِسالة التَّوليد، و129 في رِسالة الصَّدَى، ثُمَّ حَقل التَّرميز ثانياً، ويُضبَط إلى قِيمة الصِّفر في الرِّسالتين، يَليه حَقل التَّحقُّق الجمعيّ ثالِثاً، ثم حَقلان: المُعرِّف ورقم التَّتابُع، ويُستعمَلان لِلمُساعدة في مُطابَقة أزواج رسائِل التَّوليد والصَّدَى، فلو أُرسِلت أَكثرُ مِن رِسالة توليدٍ، ضُبِط هذان الحَقلان في كُلٍّ مِنها إلى قِيمٍ مُختلِفةٍ وَفقاً لِلحاجة، ويَلزَم على كُلِّ رِسالة صَدَىً أَن تَنسَخ قِيم هذين الحَقلين مِن رِسالة التَّوليد الَّتي حفَّزتها. أَمَّا الحَقل الأَخير في الرِّسالة، فهُو حَقل البيانات، ويُمكِن أَن يَكُون صِفريَّ الطُّول أَو أَن يَضُمَّ عَدَداً مِن البايتات وَفقاً لِلحاجة، ويَلزَم على رِسالة الصَّدَى أَن تَنسَخ قِيمة حَقل البيانات في رِسالة التَّوليد.

اِلتماس المُوجِّه والإعلان عنه

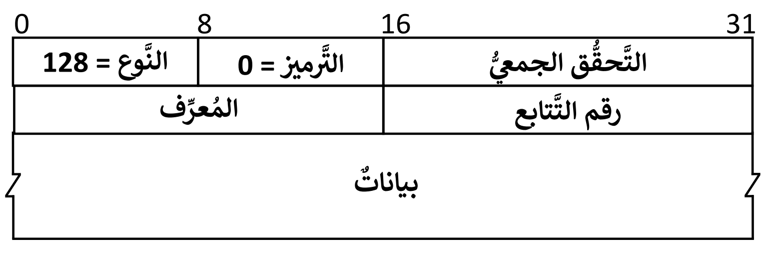
يَتبادل مُضيفٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ومُوجِّهٌ يَدعَم البرُوتُوكُول هاتين الرِّسالتين بصفتهما جُزءاً مِن عَمل برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الَّذي سيُدرَس بالتَّفصيل في الفصل الثَّاني عَشر مِن هذا الكِتاب. يُرسِل المُضيف رِسالة التماس المُوجِّه لِطَلب إرسال رِسالة إعلانٍ طارِئةٍ عن المُوجِّه، ويُجيب المُوجِّه بإرسال رِسالة الإعلان مُباشَرةً.[677]

[674] أَصل الاسم Pointer.

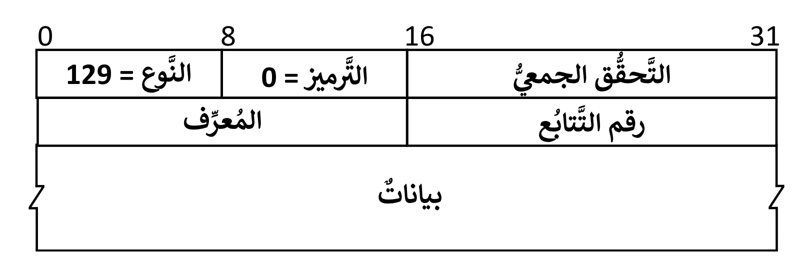
[675] تُرسَل أَيضاً بعضٌ مِن هذه الرَّسائِل دوريّاً مِن غير الحاجة لِوجُود رِسالة طَلبٍ تحفِّز الإرسال، مع إمكانية تحفيز رسالة ردٍّ عاجِلة تُرسَل بعد أن يَصِل طَلب الالتماس.

[676] انظر ص. 13-15 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

[677] يُمكِن أَيضاً أن تُرسِل المُوجِّهات دوريّاً رسائِلَ الإعلان هذه في الشَّبكة المَحلِّيَّة من غير وجُود رِسالة التماسٍ تُحفِّزها.



(أ) رِسالة توليد الصَّدَى

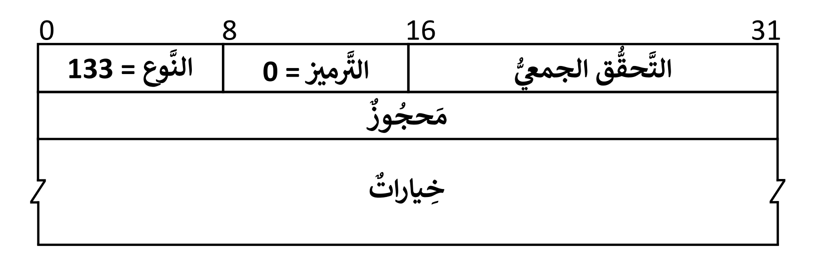


(ب) رِسالة الصَّدى

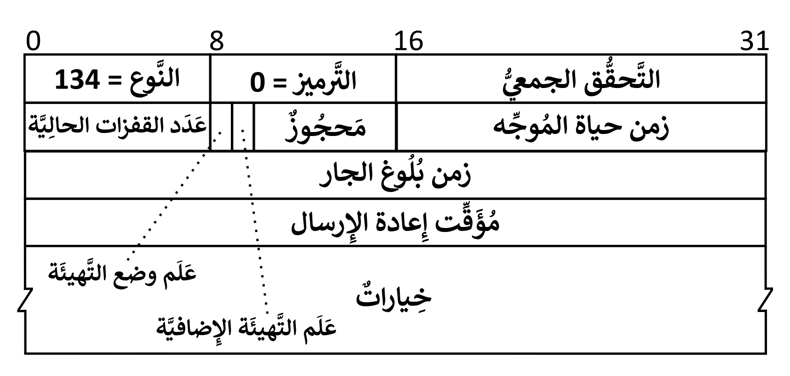
الشَّكل (11-5): بِنية الرِّسالتين المُستعمَلتين في عمليَّة توليد الصَّدَى

في ما يَخصُّ رِسالة الالتماس، تَكُون قِيمة حَقل النَّوع 133 وقِيمة حَقل التَّرميز صِفريَّةً دائِماً، يَليها حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ، ثُمَّ 32 بتاً مَحجُوزاً تُضبَط إِلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ دائِماً عند الإرسال وتُهمَل عند الاستقبال، يَلِي ذلك حَقلٌ اختياريٌّ يَضمُّ عُنوان برُوتُوكُول الوَصلة لِمُرسِل الرِّسالة، إن وُجِد (الشَّكل (11-6)).[678]

أَمَّا رِسالة الإعلان عن المُوجِّه فهي مُكوَّنةٌ مِن الحُقُول التَّالِية وَفقاً لِترتيب وُرُودها:[679]



(أ) رِسالة التِماس المُوجِّه



(ب) رِسالة الإعلان عن المُوجِّه

الشَّكل (11-6): بِنية الرِّسالتين المُستعمَلتين في اكتشاف المُوجِّهات في الشَّبكة المَحلِّيَّة

---

678 انظر ص. 18-19 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

679 انظر ص. 19-22 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

- حَقل النَّوع، ويُضبَط إلى القِيمة 134.
- حَقل التَّرميز، وتَكُون قِيمته صِفريَّةً دائِماً.
- حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ.
- حَقل عَدَد القفزات الحاليَّة[680]، طُوله 8 بِتاتٍ، ويَضمُّ القِيمة الافتراضيَّة لِحَقل عَدَد القفزات الَّتي يُستحسَن أن تستعمِلها العُقدة عند بناء ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت.
- عَلَم وضع التَّهيئة، طُوله بتٌ واحِدٌ، ويُستعمَل لِتحديد حالة خِدمة التَّهيئَة الآليَّة في الشَّبكة. إذا رُفِع، فهذا يَعنِي أنَّ برُوتُوكُول تهيئَة المُضيف الآليَّة نَشِطٌ في الشَّبكة.
- عَلَم التَّهيئَة الإضافيَّة، طُوله بتٌ واحِدٌ، ويُستعمَل لِتحديد وُجُود مَعلُومات تهيئَةٍ إضافيَّةٍ يُمكِن أن يُزوِّدها برُوتُوكُول تهيئَة المُضيف الآليَّة، نحو تهيئَة المَعلُومات الخاصَّة بنِظام تسمية النِّطاقات.
- سِتُ بِتاتٍ مَحجُوزةٍ، تُضبَط إلى الصِّفر في المُرسِل وتُهمَل في المُستقبِل.
- زمن حياة المُوجِّه، طُوله 16 بتاً، ويَحوِي زمن فعَّاليَّة بند التَّوجيه مُقدَّراً بالثَّواني فيما لو أُضيف هذا المُوجِّه بصفة وجهةٍ إلى جدول توجيه أيِّ مُضيفٍ. يَضبُط المُضيف مُؤَقِّت انتظارٍ بقِيمة هذا الحَقل، إذا نَفِد المُؤَقِّت، ولمَّا تصل رِسالة إعلانٍ بعدُ، فإنَّ المُضيف يَقول بإخفاق المَسار نحو المُوجِّه ثُمَّ يُزيله مِن جدول توجيهه. يُعيد المُضيف ضَبط قِيمة مُؤَقِّت الانتظار إلى قِيمة زمن الحياة كُلَّما استقبَل رسالة إعلانٍ جديدةً مِن المُوجِّه تَحوِي قِيمة زمن الحياة نفسَها.
- حَقلان طُول كُلٍّ مِنهما 32 بتاً: زمن بُلُوغ الجار ومُؤَقِّت إعادة الإرسال،[681] ويُستعمَلان مِن طَرف خوارزميَّة تحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار الَّتي يُشغِّلها برُوتُوكُول اكتشاف الجيران.[682]
- حُقُولٌ اختياريَّةٌ تَشمُل عُنوان برُوتُوكُول الوَصلة لِمُرسِل الرِّسالة، إن وُجِد، وقِيمة وحدة النَّقل العُظمَى، إن وُجِدت، ومَعلُومات البادِئات لو كانت مَوجُودةً.

اِلتماس الجار والإعلان عنه

يَتبادَل مُضيفٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ومُوجِّه يَدعم البرُوتُوكُول هاتين الرِّسالتين بصفتهما جُزءاً مِن عمل برُوتُوكُول اكتشاف الجيران.[683] حلَّت هاتان الرِّسالتان مَحلَّ رسائِل برُوتُوكُول اقتران العناوين[684] الَّذي يَعتمِده الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِإنجاز عمليَّة اقتران عناوين الطَّبقتين الثَّانِية والثَّالِثة وَفقاً لِنَمُوذج الرَّبط البينِيِّ لِلأَنظمة

[680] أصول أسماء هذا الحُقُول وَفقاً لِترتيب وُرُودها: Current hop limit وManaged address configuration flag و Other configuration flag وRouter lifetime.

[681] أصل الاسمين على التَّرتيب: Reachable time وRetransmission timer.

[682] أصل اسم هذه الخوارزميَّة: Neighbor unreachability detection algorithm، انظر تفصيلها في ص. 68 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

[683] انظر ص. 11 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

[684] انظر ترجمة البرُوتُوكُول في القِسم الأَخير مِن الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب.

المَفتُوحة. ولكنَّ مَهمَّة هذه الرَّسائِل في الإصدار السَّادِس لا تَقتصِر على ذلك فقط، بل يُمكِن أَن تُستعمَل مِن أَجل تحديد إمكانيَّة بُلُوغ جارٍ ما ولِلتَّحقُّق فيما لو كانت عُقدتان قادِرتان على تبادل الرَّسائِل في ما بينهما.[685]

في ما يَخصُّ رِسالة الالتماس، تَكُون قِيمة حَقل النَّوع فيها 135، وقِيمة حَقل التَّرميز صِفريَّةً دائِماً، يَأتِي حَقل التَّحقُّق الجمعيّ بعد ذلك، ثُمَّ 32 بتاً مَحجُوزاً تُضبَط إلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ دائِماً عند الإرسال وتُهمَل عند الاستقبال، ويَلِي ذلك حَقل عُنوان الهدف[686]، وطُوله 128 بتاً، ويُشترَط أَلّا يَكُون عُنوان بثٍ مَجمُوعاتيٍّ، ويُمكِن أَن تُلحَق بالرِّسالة أَيضاً خِياراتٌ خاصَّةٌ يُعرِّفها البرُوتُوكُول (الشَّكل (11-7)).[687]

أَمَّا رِسالة الإعلان عن الجار فهي مُكوَّنةٌ مِن الحُقُول التَّالِية وَفقاً لِترتيب وُرُودها:[688]

- حَقل النَّوع، ويُضبَط إلى القِيمة 136.
- حَقل التَّرميز، وتَكُون قِيمته صِفريَّة دائِماً.
- حَقل التَّحقُّق الجمعيّ.
- حَقل الأَعلام، وفيه ثلاثةٌ هي:[689]
  - عَلَم المُوجِّه، يُرفَع لِلإشارة إلى أَنَّ مُرسِل هذه الرِّسالة هُو مُوجِّهٌ، أَمَّا بخلاف ذلك، فيُضبَط إلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ.
  - عَلَم الالتماس، يُرفَع إذا كانت رِسالة الإعلان قد وُلِّدت رَدّاً على رسالة التماسٍ سابِقةٍ، وبخلاف ذلك يُضبَط إلى قِيمةٍ صِفرية، فرسائِل الإعلان هذه قد تُولَّد في حالاتٍ أُخرى مِن غير رسالة اِلتماسٍ.
  - عَلَم التَّخطِّي، يُرفَع إذا كان مُولِّد الرِّسالة يَطلُب مِن مُرسِل رِسالة الالتماس تَخطِّي أَي مَعلُوماتٍ سابِقةٍ تَضمُّ عناوينَ طَبقة الوَصلة وتجاهلها.
- حَقلٌ مَحجُوزٌ بطُول 29 بتاً، تُضبَط إلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ دائِماً عند الإرسال وتُهمَل عند الاستقبال.
- حَقل عُنوان الهدف، طُوله 128 بتاً. إذا كانت الرِّسالة قد وُلِّدت ردّاً على رِسالة التماس، فإنَّ قِيمة الحَقل تُضبَط إلى قِيمة عُنوان مُولِّد رِسالة الالتماس. ويُشترَط أَلّا يَكُون العُنوان المَوضُوع في هذا الحَقل عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ.

يُمكِن أَن تُلحَق بالرِّسالة خِياراتٌ خاصَّةٌ إضافيَّةٌ يُعرِّفها البرُوتُوكُول.

---

[685] لِلمزيد انظر ص. 437 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع.

[686] أَصل الاسم Target address.

[687] انظر ص. 22-23 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

[688] انظر ص. 23-25 في المَرجِع السَّابِق.

[689] أُصول أَسماء الأَعلام على التَّرتيب: Router flag، ويُرمَز له بالحرف R، وSolicited flag، ويُرمَز له بالحرف S، وOverride flag، ويُرمَز له بالحرف O.

0	8	16 31
النَّوع = 135	التَّرميز = 0	التَّحقُّق الجمعيُّ
مَحجُوزٌ		
عُنوان الهدف		
خِياراتٌ		

(أ) رِسالة التِماس الجار



(ب) رِسالة الإعلان عن الجار

الشَّكل (11-7): بِنية الرِّسالتين المُستعمَلتين في عمليَّة اكتشاف الجيران في الشَّبكة المَحلِّيَّة

إعادة التَّوجيه[690]

يُشرِف برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، على وظيفة إعادة التَّوجيه في الشَّبكة المَحلِّيَّة. لِأداء هذه الوظيفة، يُعرِّف برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الرِّسالة بصفتها إحدَى رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس. لا يُردُّ على رِسالة إعادة التَّوجيه أبداً، مع أنها رسالةُ إعلامٍ، أي لا يَنتظِر مُرسِلها بعد الإرسال أيَّ ردٍّ من مُستقبِلها.

قد تَتَّصل شَبكةٌ مَحلِّيَّةٌ ما مع أكثر مِن مُوجِّهٍ لِيَربطها مع العالَم الخارِجيِّ، وغالباً ما يَكُون إرسال رِزَم البيانات نحو وِجهةٍ مُحدَّدةٍ مُرُوراً بالمُوجِّه الَّذي تَمرُّ أَقصرُ الطُّرق وأَفضلُها[691] عبره، باتِّجاه تلك الوِجهة. لِذلك لو استقبَل أَحد المُوجِّهات رِزمة بياناتٍ مُرسَلةً إلى خارِج الشَّبكة، ولكنَّه، أي المُوجِّه، على عِلمٍ بوجُود مَسارٍ أَفضلَ نحو وِجهة الرِّزمة يَمرُّ عبر مُوجِّهٍ آخرَ

690 لم يُشر إلى تصنيف هذه الرِّسالة صراحةً في البرُوتُوكُول المُخصَّص لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ولكن يُفهَم مِن مَوقِعها بين الرَّسائِل حسب قِيمة النَّوع، وحسب طريقة إرسالها، أنَّها رِسالة إبلاغٍ عن خطَإٍ، ونحن نَميل لِهذا الرَّأي وقد صَنَّفناها كذلك في الفصل السَّادِس مِن هذا الكِتاب. أمَّا في نسخة البرُوتُوكُول المُخصَّصة لِلإصدار السَّادِس، فقد وُضِعت هذه الرِّسالة مع رسائِل الإعلام صراحةً حسب مُحدِّدات البرُوتُوكُول، ونحن لا نَتَّفِق مع هذا، ولكنَّنا وضعناها هنا التزاماً لما جاء في المُحدِّدات، ونُشير لِهذا التَّعارُض لِكي نُزيل أيَّ لَبسٍ مُحتمَلٍ عن القارِئ.

691 لا يُوجَد طريقةٌ مُوحَّدةٌ لِتحديد ما هي أفضل أو أقصر المَسارات نحو وجهةٍ ما في الشَّبكة، بل يَعتمِد ذلك على برُوتُوكُول التَّوجيه المُستعمَل وخوارزميَّته التي تُحدِّد كيفيَّة حساب أَقصر مسارٍ.

مُتَّصِلٍ مع الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها، فإنَّه، يُعيد توجيه الرِّزمة الَّتي استقبلها عبر المَسار الأَفضل الَّذي يَعرِفه، ثُمَّ يُرسِل رِسالة إعادة توجيهٍ إِلى مَصدَرها لِيُخبره فيها بوجُود ذلك المَسار.[692]

تَتكوَّن رِسالة إعادة التَّوجيه مِن سِتة حُقُولٍ دائِمةٍ وحَقل خِياراتٍ اختياريٌّ يَضمُّ خِياراتٍ يُعرِّفها البرُوتُوكُول، وتَكُون حُقُول التَّرويسة وَفقاً لِترتيب وُرُودها (الشَّكل (11-8)):[693]

- حَقل النَّوع، ويُضبَط إِلى القِيمة 137.
- حَقل التَّرميز، وتَكُون قِيمته صِفريَّةً دائِماً.
- حَقل التَّحقُّق الجمعيِّ.
- حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله 32 بتاً، يُضبَط إِلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ دائِماً عند الإرسال، ويُهمَل عند الاستقبال.
- حَقل عُنوان الهدف، طُوله 128 بتاً، وفيه عُنوان المُوجِّه الآخر المُتَّصِل مع الشَّبكة المَحلِّيَّة الَّذي يَمرُّ المَسار الأَفضل عبره.
- حَقل عُنوان الوِجهة، طُوله 128 بتاً، وفيه عُنوان الوِجهة النِّهائِيَّة لِلرِّزمة.

الشَّكل (11-8): بِنية رِسالة إعادة التَّوجيه

رسائِلُ أُخرَى

الجدول (11-4): رسائِل إعلامٍ أُخرَى لِدعم تطبيقات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

قِيمة حَقل النَّوع	اسم الرِّسالة بالعربيَّة	اسم الرِّسالة بالإنكليزيَّة	الوصف
130	استعلام مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتيِّ	Multicast listener query	يَستعمِلها برُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعي البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِتحديد وجُود مُستمِعين لِلبثِّ المَجمُوعاتيِّ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول
131	تقرير مُستمِع البثَّ المَجمُوعاتيِّ	Multicast listener report	

[692] انظر ص. 26 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

[693] انظر ص. 27 في المَرجِع السَّابِق.

132	الإتمام	Multicast listener done	الإنترِنت في الشَّبكة المَحلِّيَّة ولِتحديد ما هي المَجمُوعات الَّتي يَهتمُّون بسماعها[694]
138	إعادة عنونة مُوجِّهٍ	Router renumbering	تُستعمَل ضِمن آليَّة عَنونةٍ لِمَنافِذ المُوجِّهات الَّتي تَدعَم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت[695]
139	استعلام مَعلُومات عُقدةٍ	Node information query	طُوِّرت ضِمن آليَّةٍ تجريبيَّةٍ لِاكتشاف مَعلُوماتٍ عن عُقد الشَّبكة المَحلِّيَّة تَشمُل أسماءَها وعناوينها[696]
140	الرَّدُّ على استعلام مَعلُومات عُقدةٍ	Node information response	
141	رِسالة الالتِماس لِلاكتشاف المَعكُوس لِلجار	Inverse neighbour discovery solicitation	طُوِّرت ضِمن توسِعةٍ لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران تَسمَح بإنجاز عمليَّة الاكتشاف إنجازاً مَعكُوساً، أي يُمكِن لِعُقدةٍ ما تُشغِّل البرُوتُوكُول، تَعرِف عُنوان طَبقة الوَصلة الخاصَّ بعُقدةٍ أُخرَى، أن تَكتشِف عُنوان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت الخاصَّ بالعُقدة الأُخرَى[697]
142	رِسالة الإعلان لِلاكتشاف المَعكُوس لِلجار	Inverse neighbour discovery advertisement	
143	تقرير مُستمِع البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِلإصدار الثَّاني مِن برُوتُوكُول مُستمِعِي البثِّ المَجمُوعاتيِّ[698]	Version 2 multicast listener report	تُعرِّف بِنيةً جديدةً يَستعمِلها مُستمِعو الإصدار الثَّاني مِن برُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعِي البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِلإبلاغ عن وضعهم الحاليِّ[699]
144	طَلب اكتشاف عُنوان وكيل المَنزِل	Home agent address discovery request message	تُستخدَم هاتان الرِّسالتان ضِمن آليَّة اكتشاف عُنوان وكيل المَنزِل، وفيها تُرسِل عُقدةٌ مُتحرِّكةٌ رِسالة طَلبٍ إلى عُنوان بثٍّ نحو الأقرب مُخصَّصٍ لِوكلاء المَنزِل، يَردُّ كُلُّ وكيلٍ يَستقبِل رِسالة الطَّلب برِسالة الرَّدِّ الَّتي تَحوِي عناوينه[700]
145	الرَّدُّ على طَلب اكتشاف عُنوان وكيل المَنزِل	Home agent address discovery reply	
146	اِلتماس العُقدة المُتحرِّكة لِبادِئة الشَّبكة	Mobile prefix solicitation	لِإعادة عنونة العُقدة المُتحرِّكة بعد انتقالها لِشَبكةٍ جديدةٍ[701]

694 انظر ص. 3 في [RFC2710] في ثَبت المَراجِع.

695 انظر ص. 7 في [RFC2894] في ثَبت المَراجِع.

696 انظر ص. 3-5 في [RFC4620] في ثَبت المَراجِع.

697 انظر ص. 2-6 في [RFC3122] في ثَبت المَراجِع.

698 يُعيد الإصدار الثَّاني تعريف رِسالة إعلام مُستمِعِي البثِّ المَجمُوعاتيِّ، ولكنَّه يَعتمِد رقم النَّوع 130 لِيَكُون قِيمة حَقل النَّوع، وهو نفسُه المُستعمَل مِن طَرف الإصدار الأوَّل من البرُوتُوكُول، انظر ص. 15 في [RFC3810] في ثَبت المَراجِع.

699 انظر ص. 20 في [RFC3810] في ثَبت المَراجِع.

700 انظر ص. 55-57 في [RFC3775] في ثَبت المَراجِع.

701 انظر ص. 59-61 في المَرجِع السَّابِق.

147	الإعلان عن بادِئة الشَّبكة لِلعُقدة المُتحرِّكة	Mobile prefix advertisement	
157	طَلب تحديد تِكرار عُنوان	Duplicate address request	تُستعمَل لِإنجاز آليَّة تحديد الاستعمال المُتكرِّر لِعُنوان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[702]
158	تأكيد تِكرار العُنوان	Duplicate address confirmation	
160	توليد الصَّدَى المُوسَّعة	Extended echo request	إصدارٌ مُوسَّعٌ يَشمُل الإصدارين الرَّابِع والسَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِدعم أداة التَّحقُّق مِن الاتِّصال تَسمَح لِمُولِّد الرِّسالة ومُجيبها بتبادل مَعلُوماتٍ إضافيَّةٍ مِثل حالة جدول العناوين الماديَّة في العُقدة المُجيبة[703]
161	الصَّدَى المُوسَّعة	Extended echo reply	

المُشكِلات

تَتَعرَّض رسائِل البرُوتُوكُول المُخصَّص لِلإصدار السَّادِس، كما هُو الحال مع رسائِل البرُوتُوكُول المُخصَّص لِلإصدار الرَّابِع، إلى مَجمُوعةٍ مِن الهَجمات المُتنوِّعة الَّتي يُمكِن تلخيصها ضِمن الفِئات التَّالِية:[704]

- هَجمات بانتحال الهُويَّة: وفيها يُحاوِل المُهاجِم أن يُوهِم مُستقبِل الرَّسائِل أنَّها تَرِد مِن مَصدَرٍ مُغايرٍ لِمَصدَرها الأَصيل، ويُمكِن مُعالَجة هذه الهَجمات باستعمال آليَّة المُصادَقة مع رسائِل البرُوتُوكُول، بواسطة ترويسة المُصادَقة الَّتي يَدعَمها الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.
- هَجمات إعادة التَّوجيه: وهي شكلٌ مِن أَشكال هُجُوم الوسيط، وفيها يُحاوِل المُهاجِم أن يَخدَع عُقد الإصدار السَّادِس باستعمال رسائِل إعادة التَّوجيه لِتُرسِل رِزمها إليه بدلاً مِن إرسالها إلى المَخرَج الافتراضيِّ لِلشَّبكة المَحلِّيَّة، يَنسَخ المُهاجِم الرَّسائِل أو يَتلاعَب بها ثُمَّ يُعيد توجيهها إلى وِجهتها الأَصيلة بعد ذلك. يُمكِن مُعالَجة هذه الهَجمات باستعمال آليَّة المُصادَقة سالِفة الذِّكر أو ترويسة تَأمين الحُمُولة بالتَّغليف الَّتي تَمنَع أيَّ تلاعُبٌ مُحتمَلٍ بمُحتوَيات التَّرويسة.
- هَجمات التَّلاعب بالمُحتوَى: ويُحاوِل المُهاجِم فيها تضليل مُديري الشَّبكة مِن خلال التَّلاعُب بمُحتوَى الرَّسائِل لِلتَّبليغ عن أَخطاءٍ غير مَوجُودةٍ أَو عبر تزويدهم ببياناتٍ خاطِئةٍ بواسطة رسائِل الإعلام، ويُمكِن مُعالَجة هذه الهَجمات بتعمية الرِّسائِل أو بتأمين الحُمُولة بالتَّغليف سالِف الذِّكر.
- هَجمات حَجب الخِدمة: ويُمكِن أن تَحصُل بأكثر مِن طريقةٍ، أَهمُّها إرسال رِسالة بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ فيها خِيار "الوِجهة غير مَعلُومةٍ"، ويُسبِّب هذا غمر الشَّبكة برسائِلَ مُشكِلةٍ في مُحدِّدٍ الَّتي ستُولِّدها كُلُّ العُقد الدَّاعِمة

[702] انظر ص. 11 في [RFC8505] في ثَبت المَراجِع.

[703] انظر ص. 5-9 في [RFC8335] في ثَبت المَراجِع.

[704] انظر ص. 17-16 في [RFC4443] في ثَبت المَراجِع.

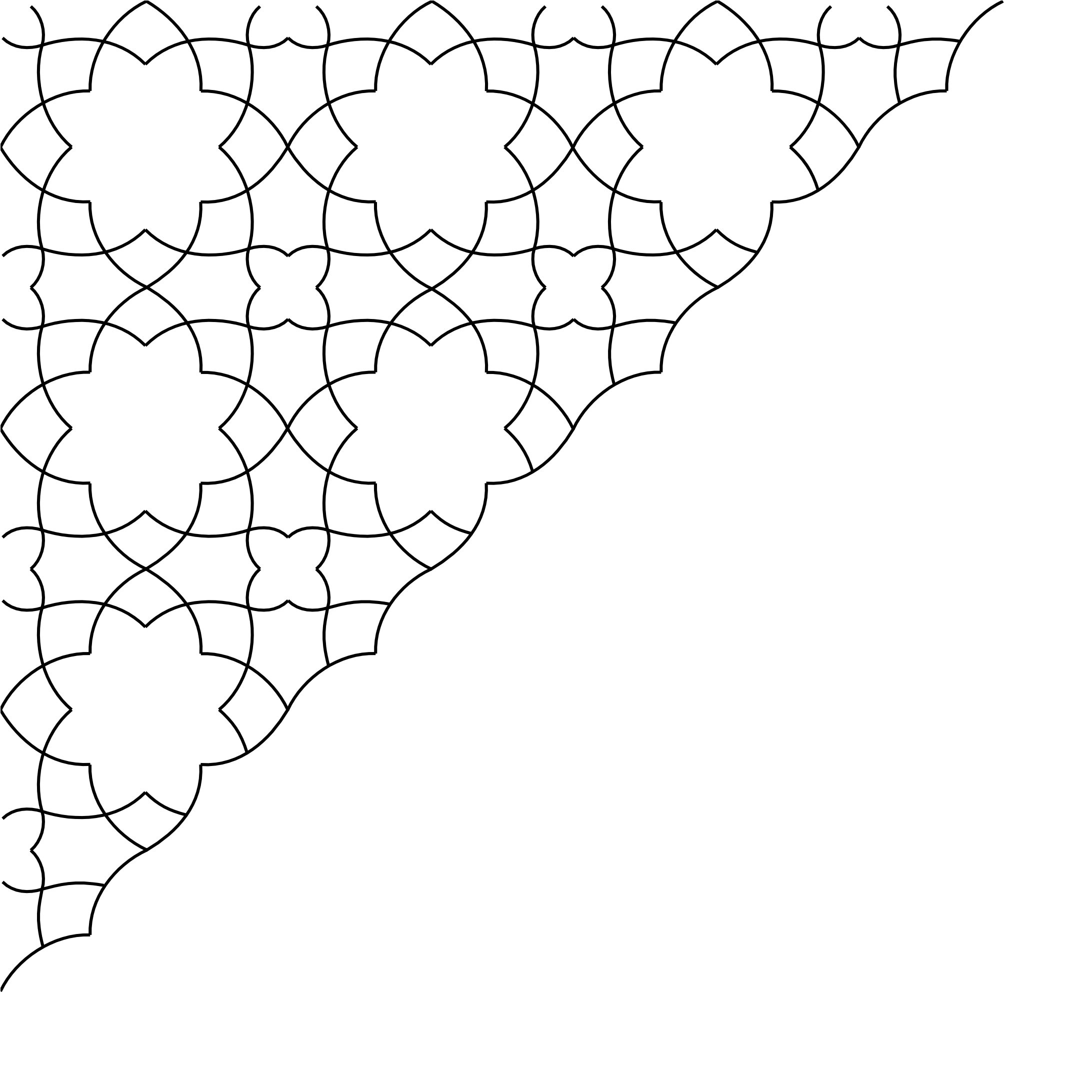
لِلإصدار السَّادِس والَّتي استقبلت الرِّسالة السَّابِقة، فلا يَكُون الاتِّصال بين العُقد مُمكِناً بعدها، كما يُمكِن أَيضاً إِيهام العُقدة المُستهدَفة بوجُود خطَإٍ في الشَّبكة وعدم قُدرتِها على الحُصُول على الخِدمة.

- هَجماتٌ على الطَّبقات العُليا مِن نَمُوذَج الاتِّصال المُستخدَم: يُمكِن أَن تُستعمَل رسائِل البرُوتُوكُول لِشنِّ هَجماتٍ على برُوتُوكُولات الطَّبقات العُليا مِن النَّموذَج المُستخدَم نحو برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل،[705] مِن خلال تزويدها ببياناتٍ خاطِئةٍ عن الوضع الحاليِّ لِلشَّبكة أَو الإبلاغ عن أَخطاءٍ غير مَوجُودةٍ لِدفع هذه البرُوتُوكُولات لِتسلُك سُلُوكاً مُعيَّناً يَستعمِله المُهاجِم لِفتح ثغرةٍ ما في نِظام الأَمن يَعتمِد عليها لِشنِّ هَجماتٍ لاحِقةٍ أُخرَى.

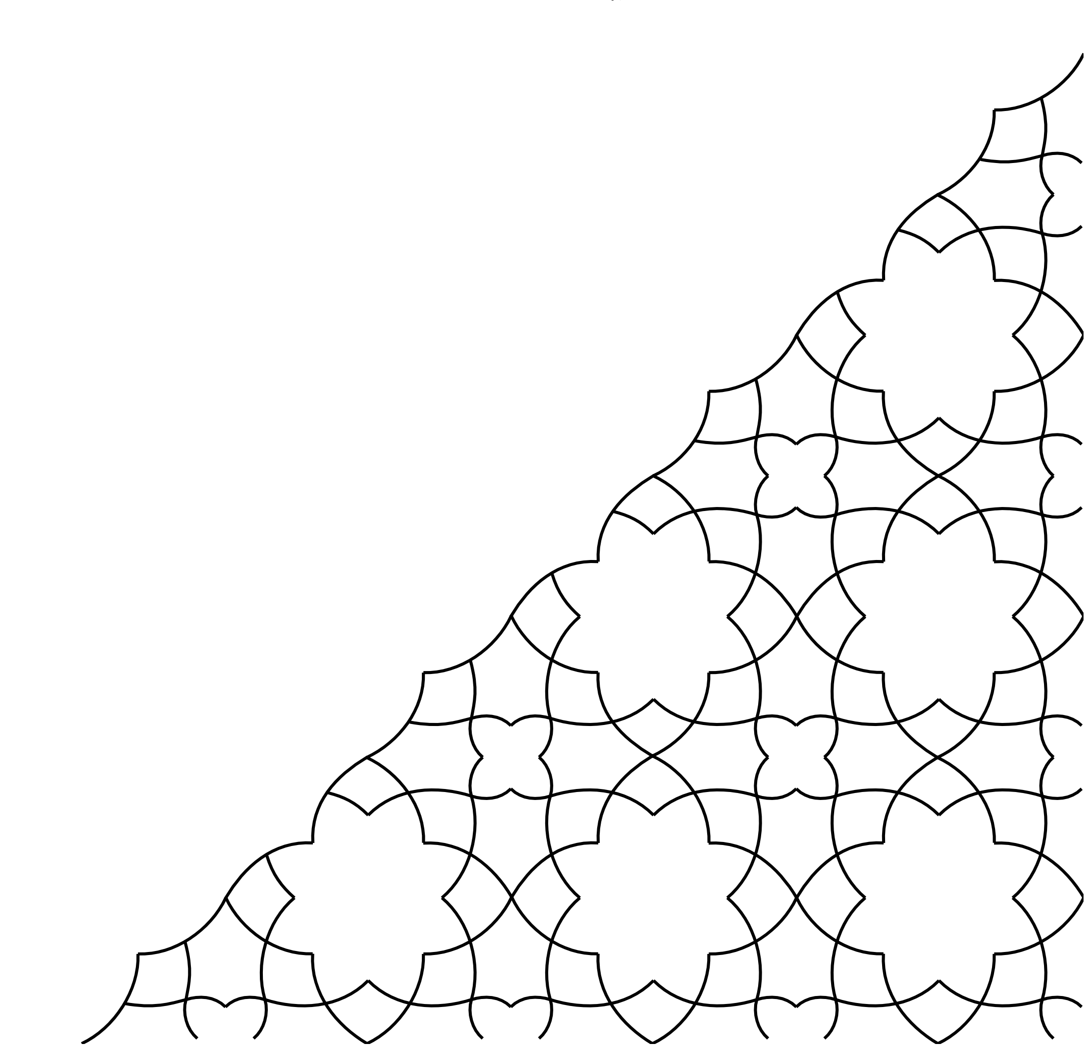
تُناقِش الوثيقة RFC 2401 كيفيَّة مُعالَجة رسائِل الأَخطاء الخاصَّة ببرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الحالة الَّتي تَكُون الرِّسالة مَحمِيَّةً فيها بواسطة ترويسة المُصادَقة وعند تأمين الحُمُولة بالتَّغليف، وأَيضاً في الحالة الَّتي لا تَكُون الرَّسائِل فيها مَحمِيةً وَفقاً لما سَبق.[706]

[705] خُصِّصت الوثيقة RFC 5729 لِمُناقشة الهَجمات الَّتي يُمكِن شَنُّها باستعمال برُوتُوكُولي رسائِل التَّحكُّم المُخصَّصين لِلإصدارين الرَّابِع والسَّادِس، انظرها في [RFC7529] في ثَبت المَراجِع.

[706] انظر ص. 35-38 في [RFC2401] في ثَبت المَراجِع.



الفصل الثَّانِي عشر: برُوتُوكُول اكتشاف الجيران



مُقدِّمةٌ

برُوتُوكُول اكتشاف الجيران[707] هُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، طُوِّر في عام 1996م. يُنجِز برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، مَجمُوعةً مِن الوظائِف التي قُدِّمت في الأَصل لِدعم الإصدار الرَّابِع، ويَحلُّ مَحلَّ برُوتُوكُولين دَعَما سابِقاً وظائِفه هُما: برُوتُوكُول اقتران العناوين، الَّذي يُستبدله كلياً، ويَحلُّ مَحلَّه مُقدِّماً وظيفة اقتران العناوين، وبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع، فيُقدِّم اثنين مِن وظائِفه هُما اكتشاف المُوجِّهات وإعادة التَّوجيه.

يَعتمِد برُوتُوكُول اكتشاف الجيران على برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت فيُعرِّف في مِعياره الأَصيل خمسَ رسائِلَ هي: رِسالة التماس المُوجِّه ورِسالة الإعلان عنه ورِسالة التماس الجار ورِسالة الإعلان عنه ورِسالة إعادة التَّوجيه. عَرَّفت برُوتُوكُولاتٌ، أَو آليَّاتٌ طُوِّرَت في ما بعد، رسائِلَ إضافيَّةً أُلحِقت بالبرُوتُوكُول ووَسَّعت مِن وظائِفه. تُشرِف هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة على إدارة وحفظ سِجلٍّ مُوحَّدٍ ومِعياريٍّ لِبُنى رسائِل البرُوتُوكُول واستعمالاتها.

يَعمَل البرُوتُوكُول في الشَّبكات المَحلِّيَّة، ويَنشُط بين العُقد الَّتي تدعم الإصدار السَّادِس لِمساعدتها في اكتشاف المُوجِّهات واكتشاف العُقد الجيران وما يُلحَق بهما وفي إنجاز عمليَّة إعادة التَّوجيه. يَشمُل اكتشاف الجيران تحديد عناوين المَخارِج الافتراضيَّة واكتشاف البادِئات المَحلِّيَّة والفريدة عالَميَّاً المُستعمَلة في الشَّبكة المَحلِّيَّة وأَطوالها ومُحدِّدات الشَّبكة نحو قِيمة وحدة النَّقل العُظمَى. أَمَّا اكتشاف الجيران، فيُغطِّي عمليَّة اقتران العناوين وآليَّة تحديد الاستعمال المُتكرِّر لِلعُنوان وآليَّة تحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار.

يُمكِن أَن يُستعمَل البرُوتُوكُول لِشنِّ مَجمُوعةٍ مِن الهَجمات في شَبكات البيانات، وتُصنَّف هذه الهَجمات وَفقاً لِأَهدافها إلى هَجمات حَجب الخِدمة وهَجماتٍ بالانتحال تَتَضمَّن انتحال العناوين وانتحال المُوجِّه. يُمكِن أَن تُصنَّف الهَجمات وَفقاً لِطَريقة شنِّها إلى هَجماتٍ تَتَضمَّن عمليَّات توجيهٍ وهَجماتٍ لا تَتَضمَّنها وهَجماتٍ تَتَلاعَب برسائِل الرَّدِّ. تُعالَج نِقاط الضَّعف المُرتبِطة بهذا البرُوتُوكُول عُمُوماً باستعمال توسِعة برُوتُوكُول الجيران الآمن أَو بتأمين الرَّسائِل بتعميتها عبر استخدام حِزمة أَمن برُوتُوكُول الإنترنِت.

أُلحِقت توسِعة الاكتشاف المَعكُوس لِلجيران ببرُوتُوكُول اكتشاف الجيران، وهي تَهدُف لِمُساعدة العُقد الَّتي تُشغِّل البرُوتُوكُول في اكتشاف عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت لِعُقدٍ أُخرَى انطلاقاً مِن عُنوان طَبقة الوَصلة خاصَّتِها، وأُلحِق برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الآمِن به أَيضاً لِمُعالَجة تهديدات الأَمن والهَجمات الَّتي طُوِّرت في الشَّبكات المَحلِّيَّة بعد تنفيذ برُوتُوكُول اكتشاف الجيران.

يَبدَأ هذا الفصل بعَرض نبذةٍ تاريخيَّةٍ لِتطوُّر معايير برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، ثُمَّ يَتناول مَبدَأ عمله شارِحاً آليَّته باختصارٍ، ويُفصِّل بعد ذلك في بُنَى الخِيارات الَّتي عَرَّفها مِعيار البرُوتُوكُول الرَّئِيس، ثُمَّ يُبوِّب وظائِفه بدقَّةٍ ويَصِفها قبل أَن يَعرُج على المُشكِلات الَّتي ظَهرت في شَبكات البيانات بعد تطبيق البرُوتُوكُول، ويُختَم الفصل باستعراض برُوتُوكُولاتٍ ذات صِلةٍ ببرُوتُوكُول اكتشاف الجيران.

---

[707] أَصل الاسم Neighbor Discovery Protocol، اختصاراً NDP.

نبذةٌ تاريخيَّةٌ

طُوِّر برُوتُوكُول اكتشاف الجيران لِيَدعَم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، خاصَّةً في مسألة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة الَّتي تُؤَدِّي إلى اتِّصال العُقدة مع الشَّبكة المَحلِّيَّة مِن غير أيِّ تَدخُّلٍ خارجِيٍّ مِن مُديري الشَّبكة. نتيجةً لِذلك، في كُلِّ مَرَّةٍ طُرِح فيها مِعيارٌ جديدٌ لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران، طُرِح معه على التَّوازي مِعيارٌ لِلتَّهيئة الذَّاتيَّة الآليَّة (الشَّكل (10-1)).[708]

بدَء العمل في تطوير البرُوتُوكُول في سِپتمبَر مِن العام 1994م، وفيه ابتدَأت صِياغة مُسوَّدةٍ أُولَى لِتعريف بُنَى لِرسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِيَستخدِمها برُوتُوكُول اكتشاف الجيران لاحِقاً،[709] ثُمَّ ابتدَأت في شهر أُكتوبر مِن العام نفسِه صياغة مُسوَّدةٍ لِتعريف كيفيَّة مُعالَجة الرَّسائِل السَّابِقة لِدعم الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَّذي كان ما يَزال قيد التَّطوير حينها.[710] ثُمَّ طُوِّر تَتَابُعاً إصداران مِن كُلِّ مُسوَّدةٍ وانتهَى العمل عليهما في شهري يَناير وفِبراير مِن العام 1995م على التَّرتيب.[711]

دُمِجت المُسوَّدتان معاً في شَهر يُونيُو مِن العام نفسِه، وحُسِّنتا، فنَتَج عنهما مُسوَّدةٌ جديدة عُنوِنت: "اكتشاف الجيران في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت".[712] حُسِّنت المُسوَّدة في أثناء السَّنة التَّالِية، وأُصدِرت سِتُّ نُسخٍ متتابِعةٍ مِنها كان آخرُها في شَهر مارس مِن العام 1996م،[713] وخلال هذه الفترة، وتحديداً في شَهر دِيسمبر 1995م، صَدَر المِعيار الأَوَّل لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وحَمَل الاسم الرَّمزيَّ RFC 1883.[714]

صَدَر المِعيار الأَوَّل لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران في أَغسطُس 1996م إلى جانِب المِعيار الأَوَّل لِتقنيَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة، وحَمَل الاسم الرَّمزيَّ RFC 1970.[715] بعد أَقلِّ مِن عامٍ ونُصفٍ، وفي ديسمبَر 1998م، صَدرَت النُّسخة الثَّانِية مِن برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، وحَمَلت الاسم الرَّمزيَّ RFC 2461، وأُصدِر معها في الوقت نفسِه مِعيارٌ جديدٌ لِكُلٍّ مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت ولِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس ولِتقنيَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة، في إشارةٍ لا لَبس فيها إلى أنَّ هذه التَّقانات قد أَصبحت جُزءاً رئِيساً مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[716]

---

[708] رَاجِع ما جاء حول التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة في القِسم المُخصَّص لها في الفصل العاشِر مِن هذا الكِتاب. يُمكِن أَيضاً تَبيُّن العَلاقة بين المعايير بتَتبُّع أسمائها الرَّمزيَّة. يُوجَد ثلاث معاييرَ لِلبرُوتُوكُول وثلاثٌ لِلآليَّة، طُرِحت على التَّرتيب كما يَأتي: أَوَّلها في أُغسطُس 1996م، وحَمَل حينها مِعيار برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الاسم الرَّمزيَّ RFC 1970 وآليَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة الاسم الرَّمزيَّ RFC 1971، وثانيها في دِيسمبَر مِن العام 1998م، وحَمَلت وثيقتا طَلب التَّعليقات ذاتا الصِّلة الاسمان الرَّمزيَّان RFC 2461 وRFC 2462 على التَّرتيب، وثالِثها في سِپتمبَر مِن العام 2007م، وحَمَلت الوثيقان الاسمان الرَّمزيَّان RFC 4681 وRFC 4682 على التَّرتيب.

[709] انظر نصَّ المُسوَّدة في [WEB38] في ثَبت المَراجِع.

[710] انظر نصَّ المُسوَّدة في [WEB39] في ثَبت المَراجِع.

[711] انظر نصَّي المُسوَّدتين على التَّرتيب في [WEB40] و[WEB41] في ثَبت المَراجِع.

[712] أَصل الاسم IPv6 Neighbor Discovery، وانظر نصَّ المُسوَّدة في [WEB42] في ثَبت المَراجِع.

[713] انظر نصَّ المُسوَّدة في [WEB43] في ثَبت المَراجِع.

[714] انظرها في [RFC1883] في ثَبت المَراجِع.

[715] انظرهما على التَّرتيب في [RFC1970] و[RFC1971] في ثَبت المَراجِع.

[716] انظرها في [RFC2460] و[RFC2461] و[RFC2462] و[RFC2463] في ثَبت المَراجِع.

أُصدِر التَّحديث الثَّالِث لِمِعيار برُوتُوكُول اكتشاف الجيران في سِبتمبَر 2007م، وحَمَلت الوثيقة الاسم الرَّمزيَّ RFC 4861،[717] وهي ما تَزال المِعيار الرَّسميَّ لِلبرُوتُوكُول حتَّى تاريخ إصدار هذا الكِتاب.

مَبدَأ العمل

برُوتُوكُول اكتشاف الجيران هُو برُوتُوكُولٌ مُساعِدٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، يُنجِز مَجمُوعةً مِن الوظائِف لِدعمه، فَيَحلُّ مَحلَّ برُوتُوكُولين خدما سابِقاً الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، هُما برُوتُوكُول اقتران العناوين، ويُستبدله كُلِّيَّاً مُقدِّماً وظيفة اقتران العناوين، وبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت، ويُقدِّم اثنين مِن وظائِفه وهُما اكتشاف المُوجِّهات وإعادة التَّوجيه.[718]

يُعرِّف البرُوتُوكُول الاصطلاحات الرَّئِيسة التَّالِية:[719]

- العُقدة: جهازٌ يُنفِّذ الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.
- المُوجِّه: عُقدةٌ تُوجِّه رِزم بياناتٍ غير مُوجَّهةٍ لها حصريَّاً.
- المُضيف: أيُّ عُقدةٍ ما خلا المُوجِّهات.
- الوَصلة: وسط اتِّصالٍ يُمكِن لِلعُقد مِن خلاله أَن تَتَّصل بعضُها مع بعضٍ اعتماداً على طَبقة الوَصلة.
- الجيران: العُقد الَّتي تَتَّصل بعضُها مع بعضٍ عبر الوَصلة نفسِها.

يُعالِج برُوتُوكُول اكتشاف الجيران عُمُوماً مَجمُوعةً مِن المسائِل ذات الصِّلة بالتَّفاعُل بين عُقد الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاشِطة في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ، وهذه المُشكِلات هي:[720]

- اكتشاف المُوجِّهات ومُلحَقاته، ويَشمُل ذلك:
  - اكتشاف المُوجِّهات في الشَّبكة المَحلِّيَّة: أَي كيف يُمكِن لِمُضيفي الإصدار السَّادِس المَوجُودين في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ ما تحديد المُوجِّهات الَّتي تَتَّصل مع تلك الشَّبكة.
  - اكتشاف البادِئات الفريدة عالمَيَّاً وأطوالها: أَي كيف يَتعرَّف مُضيفو الإصدار السَّادِس على المُستعمَلة مِن طَرف مُضيفو الشَّبكة المَحلِّيَّة. يُساعِد اكتشاف البادِئات في تحديد فيما لو كان إرسال رِزمة بياناتٍ ما لِمُضيفٍ وِجهةٍ سيَحصُل مباشَرةً عبر الشَّبكة المَحلِّيَّة أَم سيَمرُّ عبر أَحد المُوجِّهات المُتَّصِلة مع تلك

[717] انظرها في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

[718] عُرِّفت رسائِل اكتشاف المُوجِّه بصفة توسعةٍ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ووُثِقت في وَثيقة طَلب التَّعليقات RFC 1256، انظرها في [RFC1256] في ثَبت المَراجِع. أَمَّا إعادة التَّوجيه، فهي وظيفةٌ رئِيسةٌ لِبرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم، وُصِفت في مِعياره الأَصيل، انظرها في [RFC972].

[719] هذه التَّعاريف مُجتزَأةٌ مِن التَّعاريف الوارِدة في مِعيار الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنت أَو مَبنيَّةٌ عليها، أُصُول الأَسماء هي: Node وRouter وHost وLink وNeighbor على التَّرتيب، انظر الأَصل في ص. 3-4 في [RFC2460] في ثَبت المَراجِع.

[720] انظر ص. 10-11 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

الشَّبكة، ويُساعِد أَيضاً فِي دعم عمليَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة لِلعُنوان، أَي تعريف العُقد على طريقةٍ تُمكِّنهم مِن توليد عُنوانٍ لِمنفذٍ ما ذاتيّاً مِن غير الحاجة لِوجُود خِدمةٍ مركزيَّة تُتَابِع العمليَّة.[721]

- اكتشاف المُحدِّدات المُستعمَلة فِي الشَّبكة المَحلِّيَّة، نحو قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى، وفِي الإنترنِت، نحو قِيمة عَدَد القفزات.

- اكتشاف الجيران ومُلحَقاته، ويَشمُل ذلك:[722]
  - اقتران العناوين: أَي كيف يُمكِن لِعقدةٍ أُولَى أَن تُحدِّد عُنوان طَبقة الوَصلة لِعُقدةٍ أُخرَى انطلاقاً مِن مَعرِفة العُقدة الأُولَى لِعُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت الخاصّ بالعُقدة الأُخرَى.
  - تحديد الاستعمال المُتكرِّر لِلعناوين: أَي تعريف آليَّةٍ تُساعِد عُقدة الإصدار السَّادِس فِي تحديد فيما لو كان عُنوانٌ ما مُستعمَلٌ سلفاً فِي الشَّبكة المَحلِّيَّة. تَختبِر عُقد الإصدار السَّادِس العناوين الَّتِي تولِّدها ذاتيّاً بواسِطة هذه الآليَّة لِلتَّأكُّد مِن كونها فريدةً على مُستوَى الشَّبكة المَحلِّيَّة.
  - تحديد إمكانيَّة بلوغ الجار مِن عدمها لِغرض الحفاظ على جدول عناوين طَبقة الوَصلة مُحدَّثاً. لو تَعذَّر الوصُول لِلجار، يَحذُف البرُوتُوكُول البند الخاصّ به مِن الجدول.

- إعادة التَّوجيه: أَي تعريف آليَّةٍ يُمكِن مِن خلالها لِمُوجِّهٍ أَن يُعلِم مُضيفاً لِعنوانٍ مِن الإصدار السَّادِس بوجُود مَسارٍ أَفضلَ يُمكِن أَن يُرسِل إليه رِزم البيانات المُوجَّهة نحو وِجهةٍ مُحدَّدةٍ.

يُعرِّف البرُوتُوكُول خَمساً مِن رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم فِي برُوتُوكُول الإنترنِت مِن أَجل إنجاز الوظائِف السَّابِقة، وهي زوجان لِاكتشاف المُوجِّهات وزوجان لِاكتشاف الجيران ورِسالةٌ لِإعادة التَّوجيه، وهذه الرَّسائِل هي:[723] رِسالة التماس المُوجِّه ورِسالة الإعلان عن المُوجِّه ورِسالة التماس الجار ورِسالة الإعلان عن الجار ورِسالة إعادة التَّوجيه.

بُنَى الرَّسائِل والخِيارات

الرَّسائِل

بِنية رسائِل برُوتُوكُول اكتشاف الجيران هي بِنية رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت نفسُها الَّذي دُرِس بالتَّفصيل فِي الفصل الحادِي عَشر مِن هذا الكِتاب.[724]

---

[721] أَصل الاسم Stateless، وهي كلمةٌ مُكوَّنةٌ مِن مَقطعين: State وتَعنِي دولةٌ، وless وتَعنِي مَعدُوم، وهُو مُصطلَحٌ يُستعمَل لِلإشارة إلى مَعدُومِي الجنسيَّة أَي الأَشخاص الَّذين لا تَعترِف بهم أَيُّ حُكُومةٍ، والمَقصُود بهذه الكلمة فِي هذا السِّياق أَنَّ طريقة العنونة ليست مركزيَّةً ولا تَتَّبِع أَيَّ مُخدِّمٍ. انظر ص. 1143 فِي [BKE02] فِي ثَبت المَراجِع.

[722] أُصول الأَسماء على التَّرتيب: Address resolution وDuplicate Address Detection، اختصاراً DAD، و Neighbor Unreachability Detection، اختصاراً NUD.

[723] أُصول أَسماء الرَّسائِل على التَّرتيب: Router solicitation وRouter advertisement وNeighbor solicitation و Neighbor advertisement وRedirect، انظر ص. 11-12 فِي [RFC4681] فِي ثَبت المَراجِع.

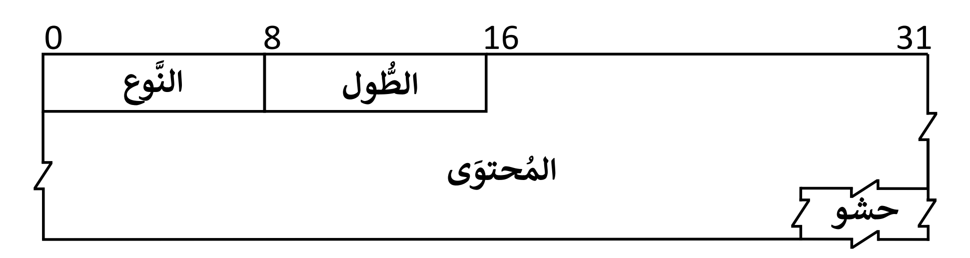
[724] انظرها بالتَّفصيل فِي الفصل الحادِي عَشر مِن هذا الكِتاب.

الخِيارات

يُمكِن أن تَحتوِي رِسالة برُوتُوكُول اكتشاف الجيران على خِيارٍ واحِدٍ أو أكثرَ وقد لا تَحتوِي على أيِّ خِيارٍ، ويُمكِن أن يَتكرَّر خِيارٌ ما أكثرَ مِن مَرَّةٍ في الرِسالة نفسِها.

يَتكوَّن خِيار برُوتُوكُول اكتشاف الجيران مِن أربعة حُقُولٍ كما يَأتِي (الشَّكل (12-1)):[725]

- حَقل النَّوع: طُوله 8 بتاتٍ، وفيه ويُحدَّد نوع الخِيار.
- حَقل الطُّول: طُوله 8 بتاتٍ، وفيه طُول الخِيار كامِلاً بواحدة 8 بايتاتٍ، أي لو كان طُول الخِيار 8 بايتاتٍ، فإنَّ قِيمة حَقل الطُّول هي 1، ولا تُقبَل قِيمة 0 فيه، ما يَعنِي أنَّ طُول الخِيار الأَدنَى هُو 8 بايتاتٍ.
- المُحتوَى: مُتغيِّر الطُّول، قد يَتضمَّن حُقُولاً فَرعيَّة، وتَتَحدَّد بِنيته بنوع الخِيار.
- الحَشُو: وهي مَجمُوعة بِتاتٍ، قد تَكُون صِفريَّةَ الطُّول، تُضاف بعد حَقل المُحتوَى لِمُحاذاة طُوله فيُصبِح مِن مُضاعفات 8 بايتاتٍ.



الشَّكل (12-1): بِنيةٌ عامَّةٌ لِخِيارات برُوتُوكُول اكتشاف الجيران

عَرَّف مِعيار برُوتُوكُول اكتشاف الجيران في الأَصل خمسة خِياراتٍ فقط، هي:[726] خِيار عُنوان طَبقة الوَصلة لِلمَصدَر وخِيار عُنوان طَبقة الوَصلة لِلوِجهة وخِيار مَعلُومات البادِئة وخِيار ترويسة إعادة التَّوجيه وخِيار وَحدة النَّقل العُظمَى. تُدير هيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة عمليَّة إدارة وحفظ وتحديث سِجلّ خِياراتٍ مِعياريٍّ، وقد خَصَّصت، مع نهاية عام 2021م، أَكثرَ مِن أَربعين قِيمة نوعٍ مِعياريَّةً استُعملت في تعريف خِياراتٍ جديدةٍ لِلبرُوتُوكُول.[727] وستُناقِش الأَقسام التَّالِية بِنية الخِيارات السَّابِقة واستعمالها.

خِيار عُنوان طَبقة الوَصلة

يُستعمَل خِيار عُنوان طَبقة الوَصلة لِغرضين: إمَّا لِحمل عُنوان طَبقة الوَصلة لِمَصدَر الرِّسالة كما هُو الحال في رِسالة التماس الجار ورِسالة التماس المُوجِّه ورِسالة الإعلان عن المُوجِّه، أو لِحمل عُنوان طَبقة الوَصلة لِلهدف كما هُو الحال في رِسالة الإعلان عن الجار ورِسالة إعادة التَّوجيه.

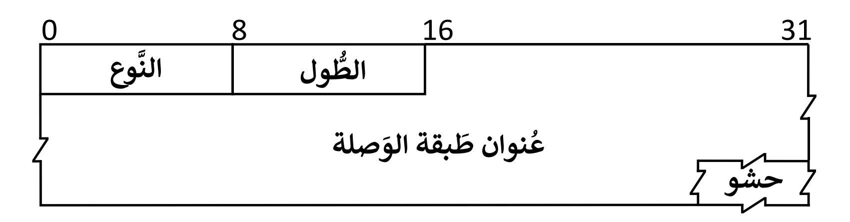
---

[725] انظر ص. 28 في [RFC4681] في ثَبت المَراجِع.

[726] أُصول أَسمائِها هي Source/Target link-layer address وPrefix information وRedirect header و Maximum Transmission Unit (MTU) على التَّرتيب.

[727] انظر [WEB37] في ثَبت المَراجِع.

يَتكوَّن الخِيار مِن ثلاثة حُقُولٍ هي حَقل النَّوع، طُوله 8 بتاتٍ، وتَكُون قِيمته 1 لو حَمَلت الرِّسالة عُنوان المَصدَر و2 لو حَمَلت الرِّسالة عُنوان الهدف، يَليه حَقل الطُّول، طُوله 8 بتاتٍ،ويُحدِّد طُول الخِيار بواحِدة 8 بايتاتٍ، ثُمَّ حَقلٌ مُخصَّصٌ لِعُنوان طَبقة الوَصلة، وأَخيراً بتات الحَشْو لو وُجِدت حاجةٌ لِإتمام الطُّول إلى حُدُود 8 بايتاتٍ (الشَّكل (12-2)).[728]



الشَّكل (12-2): بِنية خِيار عُنوان هدفٍ في طَبقة الوَصلة وخِيار عُنوان مَصدَرٍ فيها

يَتحدَّد مُحتوَى حَقل العُنوان وطريقة ترتيب بايتات عُنوان طَبقة الوَصلة فيه، أَي هل تُرتَّب حسب البِتات الأَكثر أَهمِّيَّةً أَم حسب الأَقلّ أَهمِّيَّةً، بمعاييرَ خاصَّةٍ مُستقلَّةٍ عن مِعيار البرُوتُوكُول. تُحدِّد الوثيقة RFC 2464، على سبيل المِثال، كيفيَّة إضافة عُنوان التَّحكُّم بالنَّفاذ لِلوسط في حَقل عُنوان طَبقة الوَصلة.[729]

خِيار مَعلُومات البادِئة

يُستعمَل خِيار مَعلُومات البادِئة لِيُزوِّد المُضيفين بالبادِئات المَحلِّيَّة وبالبادِئات المُستعمَلة في عمليَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة. يُرفَق الخِيار في رسائِل الإعلان عن المُوجِّه فقط، ويَكُون ثابِت الطُّول، وهو يَتكوَّن مِن عَشرة حُقُولٍ، وله البِنية التَّالِية (الشَّكل (12-3)):[730]

- حَقل النَّوع، طُوله 8 بتاتٍ وقِيمته 3.
- حَقل الطُّول، طُوله 8 بتاتٍ وقِيمته 4، أَي 24 بايتاً.
- حَقل طُول البادِئة، طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوِي على قِيمةٍ صحيحةٍ تُشير لِطُول البادِئة المُرفَقة مع هذا الخِيار، وبما أَنَّ طُول عُنوان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت هُو 128 بتاً، فإنَّ قِيم هذا الحَقل تَكُون مَحصُورةً بين القِيمتين 0 و127.
- عَلَم الوَصلة المَحلِّيَّة، وهُو بتٌ واحِدٌ، يُرفَع لِلإشارة إلى إمكانيَّة استعمال البادِئة مَحلِّيّاً. ولكن يَلزَم الانتباه، فلو خُفِض، فهذا لا يَعنِي جواز استعمالها خارِج الشَّبكة المَحلِّيَّة.
- عَلَم التَّهيئَة المُستقِلَّة لِلعناوين، وهُو بِتٌ واحِدٌ، يُرفَع لِلإشارة إلى إمكانيَّة استعمال البادِئة في عمليَّة التَّهيئة الذَّاتيَّة الآليَّة.
- حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله 6 بتاتٍ، يُضبَط إلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ في المُرسِل ويُهمَل في المُستقبِل.

[728] انظر ص. 28 في [RFC4861] ثَبت المَراجِع.

[729] انظرها في [RFC2464] في ثَبت المَراجِع.

[730] أُصول أَسماء الحُقُول والأَعلام بدءاً مِن الحَقل الثَّالِث ما خلا الحُقُول المَحجُوزة هي على التَّرتيب: Prefix length وOn-link flag وAutonomous address-configuration flag وValid Lifetime وPreferred Lifetime وPrefix، انظر ص. 29-31 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

- حَقل زمن الحياة الصَّالِح، طُوله 32 بتاً، ويَضمُّ قِيمةً لِلزَّمن الَّذي تَكُون البادِئة خلاله صالِحةً لِعمليَّة توليد العُنوان المَحلِّيِّ مُقدَّراً بالثَّواني، ويَلزَم أَن يَبدَأ حِساب هذا الزَّمن مِن لحظة إرسال الرِسالة الَّتي تَحتوِي على هذا الخِيار. لو ضُبِطت بتات الحَقل كُلُّها إِلى قِيمةٍ واحِديَّةٍ، فهذا يَعنِي أَنَّ قِيمة الزَّمن غير نِهائِيَّةٌ.
- حَقل زمن الحياة المُفضَّل، طُوله 32 بتاً، ويَضمُّ قِيمةً لِلزمن الَّذي يَكُون استعمال البادئة فيه مُفضَّلاً لِأَغراض التَّهيئة الذَّاتيَّة الآليَّة. يَكُون الزَّمن مُقدَّراً بالثَّواني، ويَلزَم أَن يَبدَأ حِسابه مِن لحظة إرسال الرِّسالة الَّتي تَحتوِي على هذا الخِيار. لو ضُبِطت بتاته كُلُّها إِلى قِيمةٍ واحِديَّةٍ، فهذا يَعنِي أَنَّ قِيمة الزَّمن غير نهائِيَّةٌ.
- حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله 32 بتاً، يُضبَط إِلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ في المُرسِل ويُهمَل في المُستقبِل.
- حَقل البادِئة، طُوله 128 بتاً، ويَحتوِي على عُنوانٍ مِن الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكول الإنترنِت أَو على بادِئة تُحدِّد فضاءً جُزئيّاً مِن الإصدار السَّادِس.

0	8	16			31
النَّوع = 3	الطُّول = 4	طُول البادِئة	.	.	مَحجُوزٌ
زمن الحياة الصَّالِح					
زمن الحياة المُفضَّل					
مَحجُوزٌ					
البادِئة					

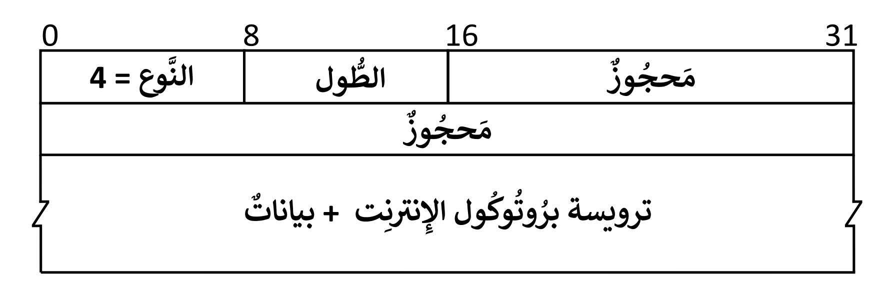
عَلَم الوصلة المَحلِّيَّة

عَلَم التَّهيئَة المُستقلَّة لِلعناوين

الشَّكل (12-3): بِنية خِيار مَعلُومات البادِئة

خِيار ترويسة إعادة التَّوجيه

يُستعمَل خِيار ترويسة إعادة التَّوجيه في رسائِل إعادة التَّوجيه فقط مِن أَجل تضمين الرِّزمة الَّتي أُعيد توجيهها كامِلةً، كما هي، أو جُزئِيّاً بتضمين أكبر قِسمٍ مُمكِنٍ مِنها. تَكُون قِيمة حَقل النَّوع في هذا الخِيار هي 4 وتَتَحدَّد قِيمة حَقل الطُّول حسب طُول الخِيار، يَلِي ذلك حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله 48 بتاً، ثُمَّ ترويسة برُوتُوكُول الإنترنِت في الرِّزمة الَّتي أُعيد توجيهها وأَكبرُ قِسمٍ مُمكِنٍ مِن حمُولتها مِن غير أَن يَتجاوز طُول الرِّسالة قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى الخاصَّة بالإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكول الإنترنِت في تلك الشَّبكة (الشَّكل (12-4)).[731]

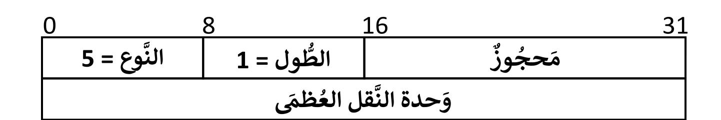


الشَّكل (12-4): بِنية خِيار ترويسة إعادة التَّوجيه

[731] انظر ص. 31-32 في [RFC4861] ثَبت المَراجِع.

خِيار وَحدة النَّقل العُظمَى

يُستعمَل خِيار وَحدة النَّقل العُظمَى في رسائِل الإعلان عن المُوجِّهات فقط مِن أجل ضمان أَن تَستعمِل عُقد الشَّبكة كُلُّها قِيمةً مُوحَّدةً لِوَحدة النَّقل العُظمَى. تَكُون قِيمة حَقل النَّوع في هذا الخِيار هي 5، وقِيمة حَقل الطُّول هي 1، يَليها حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله 16 بتاً، ثمَّ حَقل وَحدة النَّقل العُظمَى بطُول 32 بتاً، وهُو يَضمُّ قِيمة وحدة النَّقل الَّتي يُستحسَن استعمالها (الشَّكل (12-4)).[732]



الشَّكل (12-5): بِنية خِيار وَحدة النَّقل العُظمَى

الوظائِف

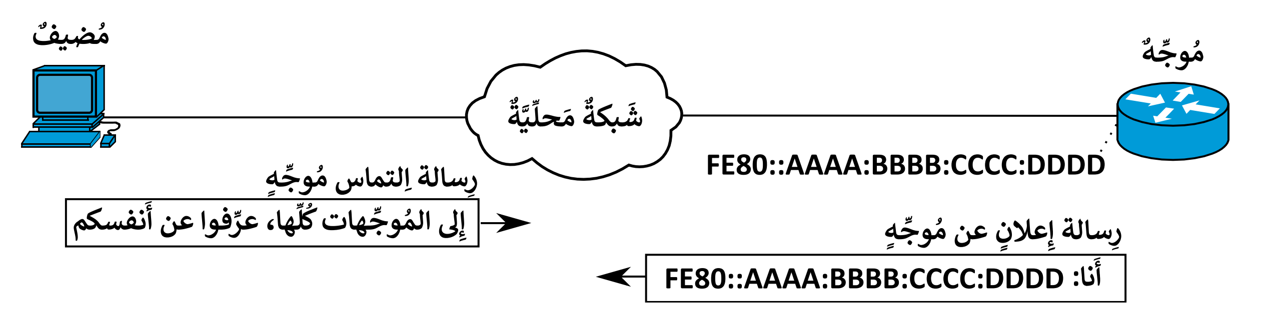
اكتشاف المُوجِّهات ومُلحَقاته

تَشمُل هذه الوظيفة اكتشاف المُوجِّهات الجيران في الشَّبكة المَحلِّيَّة والتَّعرُّف على البادِئات والتَّعرُّف على مُحدِّدات شَبكة البيانات المَحلِّيَّة ومُحدِّداتها العامَّة.

اكتشاف وجُود المُوجِّهات وعناوينها المَحلِّيَّة وعناوينها الفريدة عالَميّاً في الشَّبكة المَحلِّيَّة

تَسمَح هذه الوظيفة لِعُقدةٍ تُشغِّل الإصدار السَّادِس باكتشاف المُوجِّهات الَّتي تَدعَم البرُوتُوكُول في الشَّبكة المَحلِّيَّة، وتَحصُل العمليَّة عبر تبادل رسائِل التماس المُوجِّه والإعلان عنه.

تُرسِل المُوجِّهات، بصُورةٍ عامَّةٍ، رسائِل الإعلان عن المُوجِّهات دوريّاً، ويُمكِن لِأَيِّ عُقدةٍ اكتشاف وجُود المُوجِّهات في الشَّبكة المَحلِّيَّة والتَّأكُّد مِن نِشاطها مِن خلال استمرار استلام هذه الرَّسائِل. ولكن لو أَرادت عُقدةٌ ما، شُغِّلت حديثاً أو أُعيد تشغيلها، أَن تَكتشِف المُوجِّهات المُتَّصِلة مع الشَّبكة المَحلِّيَّة حيث تُوجَد، فإنَّها تُرسِل رِسالة التماس لِلمُوجِّهات في تلك الشَّبكة المَحلِّيَّة، وتُحفِّز هذه الرِّسالة المُوجِّهات على إرسال رِسالة إعلان عن مُوجِّهٍ ردّاً عليها (الشَّكل (12-6)).



الشَّكل (12-6): تبادُل رسائِل برُوتُوكُول اكتشاف الجيران لِغرض اكتشاف المُوجِّهات في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ

كما ذُكِر في الفصل العاشِر، فإنَّ الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لا يَدعَم البثَّ العامَّ، ولكنَّه يَستخدِم البثَّ المَجمُوعاتيَّ عِوضاً عنه. لِذلك فإنَّ رسائِل الالتماس تُرسَل دوماً إلى عُنوان مَجمُوعة كُلِّ المُوجِّهات، وهُو FF02::2. أَمَّا

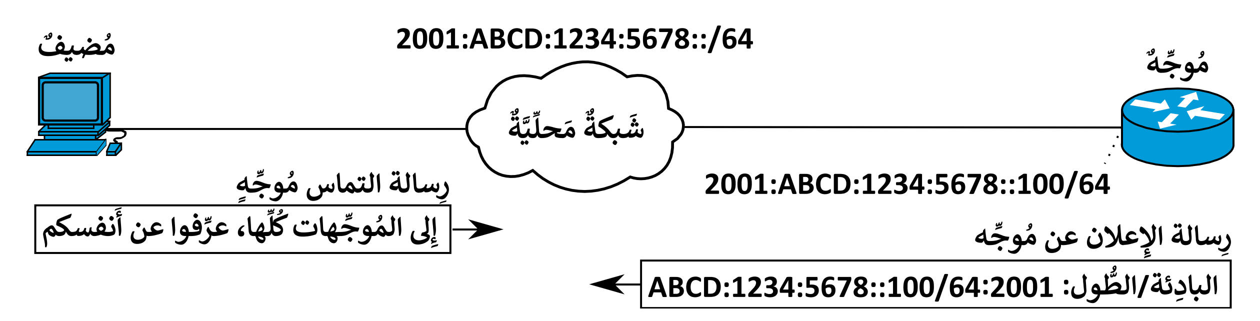
[732] انظر ص. 32 في [RFC4861] ثَبت المَراجِع.

رسائل الإعلان عن الموجِّهات، فإنَّ كانت رسائلَ دوريَّةً، فإنَّها تُرسَل إلى عُنوان مَجمُوعة كُلِّ العُقد، وهُو FF02::1. وإن كانت ردًّا على رِسالة التماس، فإنَّ رِسالة الرَّدِّ تُرسَل إلى العُقدة الَّتي وَلَّدت رِسالة الالتماس مُباشَرةً باستعمال عُنوانها المَوجُود في رِسالة الالتماس. يُمكِن أن تَحتوي هذه الرَّسائِل على خِيار عُنوان طَبقة الوَصلة، وهُو يُعرِّف المُضيف على عُنوان طَبقة الوَصلة الخاصِّ بمَنفَذ المُوجِّه المُتَّصِل مع الشَّبكة المَحلِّيَّة حيث يُوجَد المُضيف.

اكتشاف البادِئات المَحلِّيَّة وأطوالها

يَعنِي اكتشاف البادِئات المَحلِّيَّة تَعرُّف المُضيفِين على نِطاق عناوين بروتُوكول الإنترنِت المُستعمَل في الشَّبكة المَحلِّيَّة، أي تحديد العناوين الَّتي يُمكِن الوصُول إلى مُضيفِيها مُباشَرةً مِن غير أن تمرَّ الرِّسالة عبر مُوجِّهٍ.

يُمكِن أن تَحمِل رسائِل الإعلان عن المُوجِّه مَعلُوماتٍ تَخصُّ البادِئات الفريدة المُستخدَمة في الشَّبكة المَحلِّيَّة باستعمال خِيار مَعلُومات البادِئة. يُمكِن لِلمُضيفِين، نتيجةً لِذلك، أن يَكتشِفوا البادِئات وأطوالها مِن خلال مُعالَجة رِسالة إعلانٍ دوريَّةٍ عن المُوجِّه أو غير دوريَّةٍ خُصِّصت لِلرَّدِّ على رِسالة التماس (الشَّكل (7-12)).



الشَّكل (7-12): تبادُل رسائِل برُوتُوكول اكتشاف الجيران لِغرض اكتشاف البادِئات وأطوالها في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ

اكتشاف المُحدِّدات المُستعمَلة في الشَّبكة

يُمكِن أن يَكتشِف المُضيفون مَعلُوماتٍ مُتنوِّعةٍ عن المُحدِّدات المُستعمَلة في الشَّبكة المَحلِّيَّة مِن خلال الاطِّلاع على ترويسة برُوتُوكول الإنترنِت الَّتي تُغلِّف رسائِلَ برُوتُوكول اكتشاف الجيران، وعلى الخِيارات المَوجُودة في رسائِل برُوتُوكول اكتشاف الجيران، ومِنها:

- قِيمة عَدَد القفزات الأعظم الَّذي يُحدِّد زمن حياة الرِّزمة، ويُمكِن التَّعرُّف عليه مِن ترويسة برُوتُوكول الإنترنِت الَّتي تُغلِّف رِسالة برُوتُوكول اكتشاف الجيران.
- قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى، وذلك باستعمال خِيار وحدة النَّقل العُظمَى في رسائِل الإعلان عن المُوجِّهات.
- مَعلُوماتٌ تَخصُّ عمليَّة التَّهيئة الذَّاتيَّة الآليَّة، نحو وجُود دَعمٍ لِلخِدمة في الشَّبكة المَحلِّيَّة مِن عدمه، وقِيمة البادِئة المُستعمَلة في التَّهيئة الآليَّة لِلعُنوان باستعمال خِيار مَعلُومات البادِئة.

اكتشاف الجيران ومُلحَقاته

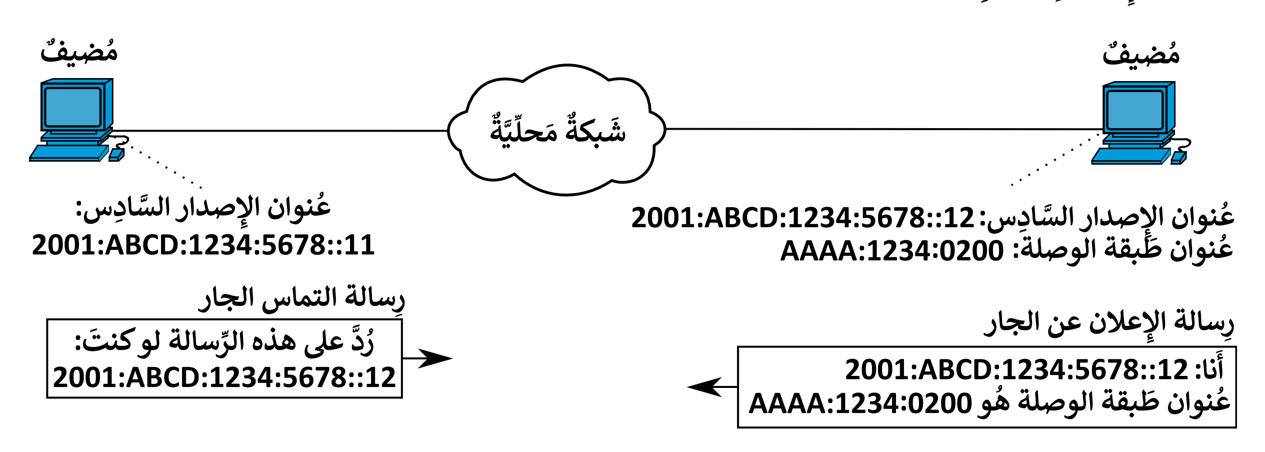
يَشمُل الاكتشاف ثلاث عمليَّاتٍ هي اقتران العناوين وتحديد الاستعمال المُتكرِّر لِلعناوين وتحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار.

اقتران العناوين

هُو اكتشاف عناوين طَبقة الوَصلة لِلعُقد الجيران عن طريق تبادُل رسائِلَ معهم. أَنجز برُوتُوكُول اقتران العناوين هذه الوظيفة لِدعم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت، وحَلَّ برُوتُوكُول اكتشاف الجيران مَحلَّه لِيُنجز هذه الوظيفة دعماً لِعمل الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[733]

تَسمَح هذه الوظيفة لِعُقدةٍ أُولَى مَوجُودةٍ في شَبكة مَحلِّيَّةٍ وتُشغِّل الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت باكتشاف وجُود عُقدةٍ أُخرَى في الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها، بالإضافة إلى الحُصُول على عُنوان طَبقة الوَصلة الخاصَّة بتلك العُقدة، أَو بمَنفَذها المُعنوَن بعُنوانٍ مِن تلك الشَّبكة، وتَحصُل العمليَّة عبر تبادُل رسائِل التماس الجيران والإعلان عنها.

لو أَرادت عُقدةٌ أُولَى، تَعرِف عُنوان برُوتُوكُول إنترنتٍ تَستضيفه عُقدةٌ أُخرَى، أَن تَعرِف عُنوان طَبقة الوَصلة الخاصَّ بالعُقدة الأُخرَى، فإِنَّها تُرسِل إليها رِسالة اِلتماس الجار، وتَنتَظِر استقبال الرَّدِّ. عندما تَستقبِل العُقدة الأُخرَى رِسالة الالتماس، فإِنَّها تَردُّ عليها بإِرسال رِسالة الإعلان عن الجار (الشَّكل (12-8)).



الشَّكل (12-8): تبادُل رسائِل برُوتُوكول اكتشاف الجيران لِغرض إنجاز وظيفة اقتران العناوين في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ

يَكُون عُنوان وِجهة رِسالة الإعلان عن الجار هُو عُنوان التماس العُقدة، وهُو عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ مَحلِّيُّ النِّطاق يُبنَى اعتماداً على الخانات سِتة العَشريَّة السِّتة الأَقلِّ أَهمِّيَّةً في عُنوان بثٍّ فريد الوِجهة لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. يَلزَم أَن تَستمِع كُلُّ عُقدةٍ لِلإصدار السَّادِس إلى عناوين الالتماس الخاصَّة بمَنافِذها لِمُعالَجتها والرَّدَّ عليها باستعمال رسائِل الإعلان عن الجار.

أَمَّا عُنوان التماس العُقدة، فيَكُون له الصِّيغة الآتية: FF02:0:0:0:0:1:FFXX:XXXX، أَي أَنَّه يَتكوَّن مِن قِسمين:[734]

1. بادئةٌ طُولها 104 بتاتٍ، هي: FF02:0:0:0:0:1:FF00::/104.
2. سِتُّ خاناتٍ سِتة عَشريَّةٍ، طُولها كُلُّها 24 بتاً، مَأخُوذةٌ مِن البتات الأَربعة والعشرين الأَقلَّ أَهمِّيَّةً مِن عُنوان بثٍّ فريد الوِجهة أَو عُنوان بثٍّ نحو الأَقرب.

[733] انظر ترجمة برُوتُوكول اقتران العناوين في قِسم "برُوتُوكُولاتٍ مُساعِدةٍ" في نهاية الفصل الثَّالِث مِن هذا الكِتاب.

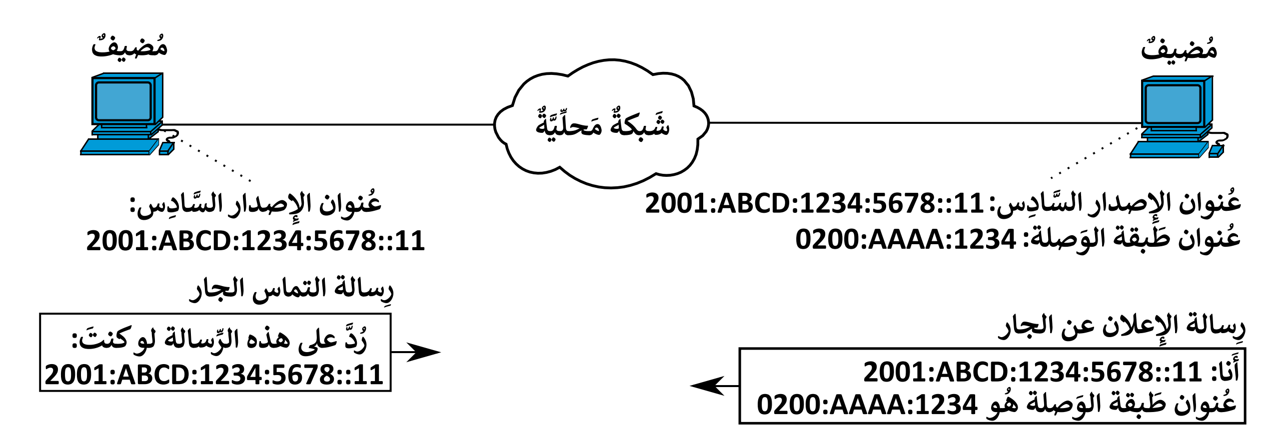
[734] انظر ص. 15-16 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

تحديد الاستعمال المُتكرِّر لِلعُنوان

تُستعمَل رِسالتا التماس الجار والإعلان عنه ضِمن آليَّة تحديد الاستخدام المُتكرِّر لِلعُنوان، وهي آليَّةٌ طُوِّرت لِتُساعِد العُقد على تجنُّب استعمال عُنوان الإصدار السَّادِس ذاته أكثرَ مِن مَرَّةٍ في الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها، خاصَّةً عند استعمال التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة، فلا سِجلَّ مَركزيّاً فيها يُمكِن التَّحقُّق بواسطته مِن تَفرُّد العُنوان وعدم استعماله في أيِّ مَوقِعٍ آخرَ في الشَّبكة المَحلِّيَّة.

تَحصُل عمليَّة تحديد الاستخدام المُتكرِّر لِلعُنوان انطلاقاً مِن عُقدةٍ تُريد التَّحقُّق مِن تفرُّد عُنوانها في الشَّبكة المَحلِّيَّة كما يَأتي (الشَّكل (12-9)):

- تُرسِل العُقدة رِسالة التماس جارٍ نحو عُنوان التماس العُقدة المُرتبِط بالعُنوان الَّذي يُراد فحص تفرُّده.
- لو كان العُنوان فريداً، لن تَحصُل العُقدة على أيِّ رِسالة إعلانٍ عن جار ردّاً على رِسالة الالتماس السَّابِقة. وبخلاف ذلك، فهذا يَعنِي وجُود عُقدةٍ أُخرَى في الشَّبكة المَحلِّيَّة يُحتمَل أن يَكُون لها العُنوان نفسُه، وهي الَّتي رَدَّت على رِسالة الالتماس السَّابِقة برِسالة إعلانٍ عن الجار.



الشَّكل (12-9): تبادُل رسائِل برُوتُوكول اكتشاف الجيران لِغرض تحديد الاستخدام المُتكرِّر لِلعُنوان في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ

تحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار

يُساعِد برُوتُوكُول اكتشاف الجيران عُقد الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت على التَّمييز بين إخفاق العُقدة وإخفاق المَسار نحوها. فالأُوَّل هُو توقُّف العُقدة عن العمل تَوقُّفاً تاماً وتعذُّر الاتِّصال بها نتيجةً لِذلك. أَمَّا الآخر، فيَعنِي عدم صلاحيَّة المَسار نحو العُقدة المُستهدَفة، ويُمكِن عندها إيجاد مَسارٍ بديلٍ والحِفاظ على الاتِّصال مع تلك العُقدة.

تَستخدِم كُلُّ عُقدةٍ في الشَّبكة المَحلِّيَّة هذه الآليَّة لِلتَّحقُّق مِن إمكانيَّة بُلُوغ الجيران كُلِّهم، وهذا يَشمُل المُضيفِين الجيران في تلك الشَّبكة والمُوجِّهات الَّتي تَلعَب دور المَخارِج الافتراضيَّة.

تَعتقِد العُقدة بإمكانيَّةِ الاتِّصال مع جارٍ لها إذا كانت المُدَّة الزَّمنيَّة المُنقضية منذ استقبال آخر رِزمة بياناتٍ مِنه لم تتجاوز عتبةً زمنيَّةً يُحدِّدها البرُوتُوكول، ويُمكِن تأكيد ذلك بطريقتين إمَّا عبر استعمال برُوتُوكُولات طَبقةٍ عُليَا نحو برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل، أو نتيجةً لِاستقبال رِسالة إعلانٍ عن جارٍ ردّاً على رِسالة التماسٍ أُرسِلت خصيصاً له، ولا يَشمُل هذا رسائِل

الإعلان عن المُوجِّهات ولا رسائِل الإعلان عن الجار المُرسَلة مِن غير رِسالة التماسٍ، فاستقبال هذه الرَّسائِل يَعنِي إمكانيَّة الاتِّصال وحيد الاتِّجاه، أَمَّا آليَّة تحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار فتُعنَى بتَأكيد وجُود اتِّصالٍ مُزدَوج الاتِّجاه.

تُعرِّف الآليَّة خمسَ حالاتٍ لِكُلِّ بندٍ مِن بُنُود عناوين الجيران في الذَّاكِرة المِخبئيَّة[735] لِلعُقدة (الشَّكل (12-10)):[736]

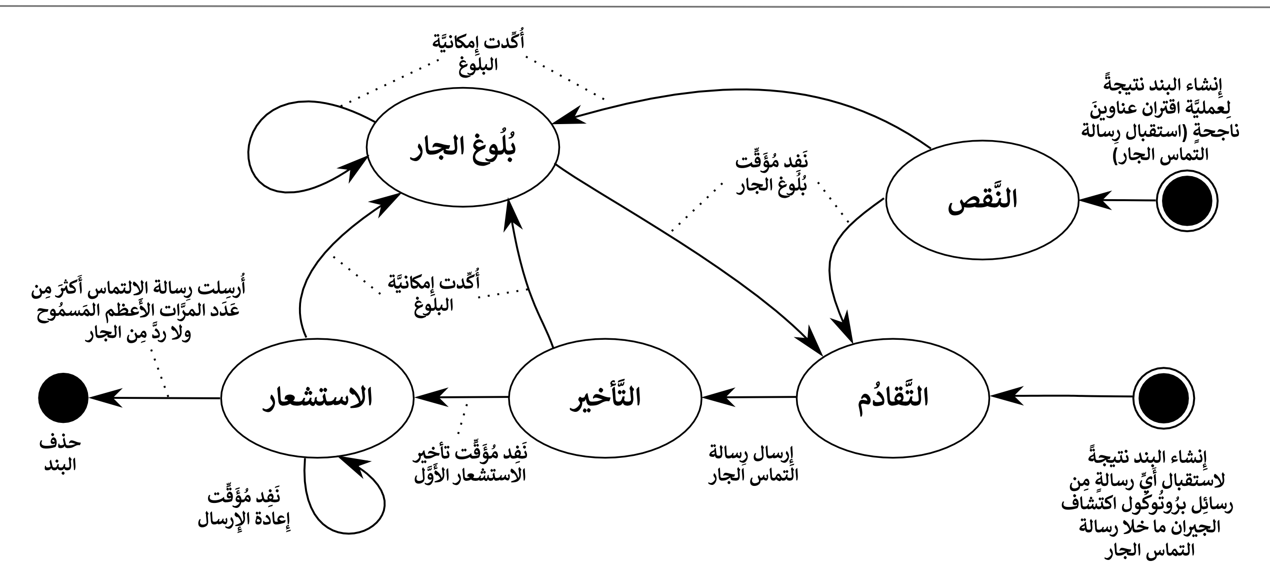
- حالة النَّقص، وهِي حالةٌ ابتدائيَّةٌ، يَدخُلها البند بعد إضافته لِلمرَّة الأُولَى نتيجةً لِعمليَّة اقتران عناوينَ ناجِحةٍ، ويَعنِي وجُود البُنود في هذه الحالة بأَنَّ رِسالة التماس جارٍ قد أُرسِلت إلى عُنوان التماس العُقدة، ولكن رِسالة الإعلان لمَّا تَصِل بعدُ.
- حالة بُلُوغ الجار، يَدخُل البند هذه الحالة عند استقبال رِسالة إعلانٍ عن الجار ردّاً على رِسالة التماسٍ أُرسِلت سابِقاً، أَو عند وصُول تَأكيدٍ على إمكانيَّة الاتِّصال مع الجار مِن برُوتُوكُول طَبقةٍ عُليَا، ويَظلُّ البند في هذه الحالة لِمُدَّةٍ زمنيَّةٍ يُحدِّدها مُؤَقِّتٌ انتظار خاصٌ يُضبَط إلى زمن بُلُوغ الجار.[737] لو نَفِدت قِيمته، يُصبِح البند مُتقادِماً ويَنتقِل إلى حالة التَّقادُم.
- حالة التَّقادم، يَدخُلها البند مِن حالة بُلُوغ الجار، لو نَفِد زمن بُلُوغ الجار مِن غير استقبال رِسالة ردٍّ على رِسالة التماس الجار. يُمكِن أَن تَكُون هذه الحالة أَيضاً حالةً ابتدائِيَّةً، لو أُضيف البند لِلذَّاكِرة المِخبئِيَّة نتيجةً لِاستقبال أيِّ رِسالةٍ مِن رسائِل برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، ما خلا رِسالة الإعلان عن الجار. يُغادِر البند هذه الحالة نحو حالة بُلُوغ الجار لو اِستقبَلت العُقدة تَأكيداً على إمكانيَّة بُلُوغ الجار، أَو نحو حالة التَّأخير لو أُرسِلت رِسالة التماس الجار نحو الجار المُرتبِط بالبند.
- حالة التَّأخير، يَدخُلها البند بعد إرسال رِسالة التماس الجار في حالة التَّقادُم، يَنتظِر البند في هذه الحالة لِفترةٍ زمنيَّةٍ يُحدِّدها مُؤَقِّتٌ خاصٌ هُو مُؤَقِّت زمن التَّأخير، لو نَفِد هذا المُؤَقِّت، ولمَّا تَصِل رِسالة الإعلان عن الجار الَّتي تَرُدُّ على رِسالة الاِلتماس بعدُ، يَنتقِل البند إلى حالة الاستشعار.
- حالة الاستشعار، وتَعنِي أَنَّ عمليَّة التَّحقُّق مِن إمكانيَّة بُلُوغ الجار جاريةٌ مِن خلال إرسال رسائِل الاِلتماس دوريَّاً بفواصلَ زمنيَّةٍ يُحدِّدها مُؤَقِّت إعادة الإرسال. تَحصُل مُحاوَلات إرسال عَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن رسائِل الالتماس، ويَظلُّ البند مُنتظِراً في هذه الحالة استقبال رِسالة إعلانٍ عن الجار رَدّاً على إحداها. فلو وَصلت، يَعُود إلى حالة بُلُوغ الجار. أَمَّا لو أُرسِل عَدَدٌ مِن الرسائِل مُساوٍ لِلعَدَد الَّذي يُحدِّده البرُوتُوكُول، فلا إمكانيَّة لِبُلُوغ الجار ويَلزَم حذف البند.

---

[735] أَصل الاسم Chache memory، وَردت مُعرَّبةً في ص. 10 في [BKA05] في ثَبت المَراجِع في إلى خابيةٍ وذاكِرةٍ مُخبَّأة، وفي ص. 51 في [BKA01] إلى كاشٍ وذاكِرةٍ حاضِرةٍ، وفي ص. 178 في [BKA02] إلى المُختَزن، وارتَأينا تعريبها إلى ذاكِرةٍ مِخبَئِيَّةٍ، لأَنَّنا وجدناه المُصطلَح الأَقرب إلى توصيف وظِيفتها.

[736] أُصول أَسماء الحالات على التَّرتيب: Incomplete وReachable وStale وDelay وProb، انظر ص. 70-71 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.

[737] القِيم الافتراضيَّة لِثوابت برُوتُوكُول اكتشاف الجيران هي: 30000 مِيلي ثانِية لِزمن بُلُوغ الجار Reachable time، و1000 مِيلي ثانِية لِمُؤَقِّت إعادة الإرسال Retrans timer، وخمس ثوانٍ لِزمن تَأخير الاستشعار الأَوَّل Delay first probe time، وثلاثٌ لِعَدَد مرَّات إرسال رِسالة الاِلتماس فريدة الوِجهة Max unicast solicit، انظر ص. 78-79 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (12-10): مُخطَّط الحالة لِآليَّة تحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار

إعادة التَّوجيه

يُرسِل مُوجِّهٌ، يَلعَب دور مَخرَجٍ افتراضيٍّ في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ، هذه الرِّسالة إلى مُضيفٍ أَرسَل رِزمة بياناتٍ عبره لِإخباره بوجُود مَسارٍ أَفضلَ[738] نَحو وِجهة تلك الرِّزمة يَمرُّ عبر مَخرجٍ افتراضيٍّ آخرَ مُتَّصلٍ مع الشَّبكة المَحلِّيَّة أَو لِإخبارِه أَنَّ الوِجهة هي جارٌ مُتَّصلٌ مع الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها، ولا داعٍ لِإرسال الرِّزمة عَبر المَخرَج الافتراضيّ. يَتعيَّن على كُلِّ مُوجِّهٍ، لِتحقيق ذلك، أَن يَكُون قادِراً على تحديد العناوين المَحلِّيَّة لِلمُوجِّهات الجيران كُلِّها، أَي تلك المُتَّصلة مع الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها.

يُعيد المُوجِّه توجيه رِزمة بياناتٍ يَمرُّ مَسارها عبره إلى وِجهتها إذا تَحقَّقت الشُّرُوط الثَّلاثة التَّالِية معاً:[739]

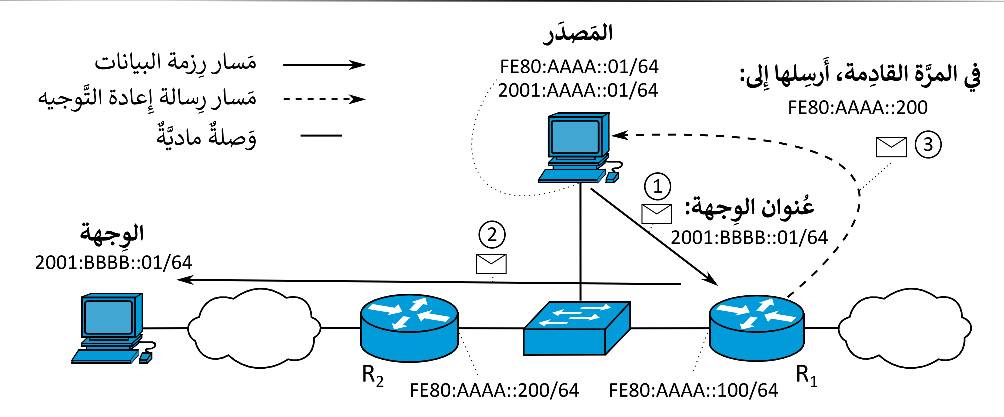
- كان عُنوان مَصدَرها مِن شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ يَتَّصل المُوجِّه معها.
- وَجَد المُوجِّه مَخرَجاً افتراضيّاً آخرَ مُتَّصِلاً مع الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها، وكان مَسار الرِّزمة عبره أَفضلَ نحو وِجهتها.
- لم يَكُن عُنوان وِجهة الرِّزمة عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ.

بعد أَن يُعيد المُوجِّه توجيه رِزمة البيانات نحو مُوجِّهٍ آخرَ مُتَّصلٍ مع الشَّبكة المَحلِّيَّة، فإنَّه يُرسِل رِسالة إعادة التَّوجيه إلى مَصدَرها (الشَّكل (12-11)). يُمكِن أَن تَحتوِي رِسالة إعادة التَّوجيه على خِيارين: خِيار عُنوان طَبقة الوَصلة لِلهدف، لو كان مَعلُوماً، وخِيار ترويسة إعادة التَّوجيه لِيَضمَّ أَكبرَ قدرٍ مُمكِنٍ مِن رِزمة البيانات الَّتي أُعيد توجيهها.

إذا كان حَقل عُنوان الهدف في الترويسة مُساوِياً في قِيمته لِحَقل عُنوان الوِجهة فهذا يَعني أَن وِجهة الرِّزمة مَوجُودةٌ في الشَّبكة المَحلِّيَّة نفسِها حيث يُوجَد المُرسِل، وعليه أَن يُرسِل أَيَّ رِزمٍ مُستقبليَّة إليها مُباشرةً مِن غير الحاجة لِلمُرور بمُوجِّهٍ وسيطٍ. يُحبَّذ أَن يُعدِّل المُضيف البيانات الَّتي يَحتفِظ بها في ذاكرته المِخبئيَّة بما يَتوافَق مع رِسالة إعادة التَّوجيه الَّتي استقبلها.

738 يَختلِف مَعنَى كلمة "الأَفضل" باختلاف برُوتُوكُول التَّوجيه المُستعمَل، بعضٌ مِن برُوتُوكُولات التَّوجيه تَعتمِد على عَدَد القفزات، وبعضُها على مُعدَّل نقل البيانات وبعضُها على عواملَ هجينةٍ تَشمُل ما سَبق ومُحدِّداتٍ أُخرَى غير ذلك.

739 انظر ص. 75 في [RFC4861] في ثَبت المَراجِع.



الشَّكل (12-11): مِثالٌ عن آليَّة عَمل رِسالة إعادة التَّوجيه في برُوتُوكُول اكتشاف الجيران

المُشكِلات

التَّصنيف

يُمكِن أَن يُستعمَل البرُوتُوكُول لِشنِّ هَجماتٍ مُتنوِّعةٍ على شَبكات البيانات، وتُصنَّف هذه الهَجمات ضِمن ثلاث فِئاتٍ حسب أَهدافها كما يأتِي:[740]

- هَجمات حَجب الخِدمة، وفيها يُحجَب الاتِّصال بين العُقدة المُستهدَفة وسائِر العُقد في الشَّبكة، فلا يَعود بإِمكان سائِر العُقد إِرسال الرِّزم إليها ولا بإِمكان العُقدة المُستهدَفة إِرسال الرِّزم إليهم. يُمكِن أَن تَحصُل العمليَّة مِن خلال غَمر العُقدة المُستهدَفة برِزم بياناتٍ قادِمةٍ أُعيد توجيهها نحو العُقدة المُستهدَفة مِن عُقدٍ أُخرَى لِهذا الغرض، ويُسمَّى هذا النَّوع مِن الهَجمات حَجب الخِدمة بالغمر.[741]
- هَجماتٌ بانتحال العناوين، وفيها تَنتحِل عُقدةٌ ما دَور عُقدةٍ أُخرَى مِن خلال التَّلاعُب بالعناوين، وغالباً ما يَكُون الهدف مِنها خِداع العُقدة المُستهدَفة ودفعُها لإِرسال البيانات إِلى وِجهةٍ خبيثةٍ أَو لِدَفع العُقدة المُستهدَفة لِإجراء تعديلٍ في التَّهيئَة أَو السُّلوك ما يُؤَدِّي إِلى فتح ثغراتٍ أَمنيَّةٍ جديدةٍ يَستغلُّها المُهاجِمون.
- هَجماتٌ بانتحال المُوجِّه وتُسمَّى أَيضاً هَجمات إِعادة التَّوجيه[742] وفيها تَلعَب عقدةٌ خبيثةٌ دور مُوجِّهٍ، فتُعيد توجيه رِزم البيانات الذَّاهِبة نحو المَخرَج الافتراضيِّ إِلى عُقدةٍ أُخرَى في الشَّبكة المَحليَّة.

ويُمكِن أَيضاً أَن تُصنَّف الهَجمات والتَّهديدات ضِمن ثلاث فِئاتٍ حسب طريقة تنفيذها كما سيَأتِي:[743]

- الهَجمات الَّتِي لا تَتضمَّن عمليَّة توجيهٍ، وتَكُون مُوجَّهةً لِلعُقد الجيران وتَشمُل الهَجمات على عمليَّة اكتشاف الجيران وعلى آليَّةٍ تحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار وعلى آليَّة تحديد الاستخدام المُتكرِّر لِلعُنوان.

---

[740] أُصول الأَسماء: Denial of Service attack، اختصاراً DoS، وAddress spoofing attack وRouter spoofing attack، انظر ص. 79-80 في [RFC4861] ثَبت المَراجِع.

[741] أَصل الاسم: Flooding denial-of-service.

[742] أَصل الاسم Redirect attack.

[743] انظر ص. 8 في [RFC3756] ثَبت المَراجِع.

- الهَجمات الَّتي تَتَضمَّن عمليَّة توجيهٍ، وتَشمُل مَجمُوعةً مِن الهَجمات الَّتي تُؤَثِّر على عمليَّة توجيه رِزم البيانات، وغالباً ما تَتَضمَّن إعادة توجيهٍ لِرِزم البيانات لِغير وِجهتها الأَصيلة إمَّا لِغرض نسخها ثُمَّ تحليلها لاحِقاً أَو لِحَجب خِدمةٍ ما عن مَصدَرها.
- الهَجمات الَّتي تَتَضمَّن رسائلَ الرَّدِّ، وتَستهدِف آليَّة عمل البرُوتُوكُول خاصَّةً مسأَلة تبادُل رسائِل الالتماس والإعلان، وفيه يُزوِّر المُهاجِم رِسالة ردٍّ لِغرض خِداع العُقدة المُستهدَفة وتزويدها ببياناتٍ غير صحيحةٍ لِدَفعها لِسُلُوكٍ ما قد يَشمُل تعديلاً في المَعلُومات المُهيَّئَة فيها.

أَمثلةٌ

مِن الهَجمات الَّتي يُستعمَل برُوتُوكُول اكتشاف الجيران في شنِّها:[744]

- انتحال رسائِل التماس الجار والإعلان عنها: ويَكُون الهدف الرَّئِيس مِنها التَّلاعُب بالرَّوابط بين عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت وعناوين طَبقة الوَصلة الَّتي يُخزِّنها المُضيف، ويُصنَّف هذا الهُجوم بصفته هُجوم حَجب خِدمةٍ لِأَنَّ العُقدة المُستهدَفة تُخفِق في الاتِّصال بوِجهاتٍ مُتعدِّدةٍ أَو مع الوِجهات كُلِّها، كما يُصنَّف أَيضاً على أَنَّه هُجُوم إعادة توجيهٍ، لو أَعاد المُهاجم توجيه الرِّزم لِوِجهتها الأَصيلة بعد نسخها أَو مُعالَجتها. يُمكِن التَّصدِّي لِهذا الهُجُوم مِن خلال حصر إمكانيَّة الوصُول لِلشَبكة بالعُقد المَوثُوقة فقط. قد يَحصُل الهُجوم عبر أَشكالٍ عديدةٍ مِنها:
  - إضافة بندٍ خبيثٍ إلى ذاكِرة المُضيف لِيَربُط بين عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت وعُنوان طَبقة وَصلةٍ ربطاً غير صحيحٍ، إمَّا عن طريق إرسال رِسالة التماس جارٍ خبيثةٍ فيها خِيارٌ خبيثٌ لِعُنوان مَصدَر طَبقة الوَصلة أَو عن طريق إرسال رِسالة إعلانٍ عن جارٍ فيها خِيارٌ خبيثٌ لِعُنوان وِجهة طَبقة الوَصلة. في كِلتا الحالتين، تُخدَع العُقدة المُستهدَفة وتُرسَل رِزمها نحو وِجهةٍ خبيثةٍ مُغايرةٍ لِلوِجهة الأَصيلة.
  - التَّلاعُب بآليَّة تحديد الاستعمال المُتكرِّر لِلعُنوان لِإيهام العُقدة المُستهدَفة بأَنَّ عُنوانها يُستعمَل في مكانٍ ما على الشَّبكة لِتَتَوقَّف عن استعماله.
  - هَجماتٌ مُرتبطةٌ بآليَّة تحديد تعذُّر بُلُوغ الجيران، تَحصُل بعد أَن تُخفِق العُقدة المُستهدَفة في الاتِّصال مع أُخرَى، ولكن بدلاً مِن تَعذُّر الاتِّصال، تَتَلاعَب عُقدةٌ خبيثةٌ بالعُقدة المُستهدَفة وتُوهِمها بأَنَّها العُقدة الأُخرَى مِن خلال إرسال رسائِل الإعلان عن الجار.
- هُجُوم المَخرَج الافتراضيِّ الخبيث،[745] وفيه تَدَّعي عُقدةٌ ما أَنَّها مَخرَجٌ افتراضيٌّ مِن الشَّبكة المَحلِّيَّة، فتَلعَب دَور مُوجِّهٍ وتُرسِل رِسالة إعلانٍ عن المُوجِّه في الشَّبكة المَحلِّيَّة لِعُموم المُضيفِين أَو لِمُضيفٍ مُحدَّدٍ مُستهدَفٍ، ونتيجةً لِذلك، يُرسِل المُضيف المُستهدَف، أَو المُضيفون المُستهدَفون، رِزمهم نحو المَخرَج الخبيث، الَّذي قد يَنسَخها لِغرض تحليلها ثُمَّ يُعيد توجيهها نحو وِجهتها الأَصيلة، ويَكُون الهُجوم بذلك شَكلاً مِن أَشكال هُجُوم الوسيط، أَو قد يَتخلَّص المَخرَج الخبيث مِن الرِّزم فيَحجُب الاتِّصال مع الشَّبكة الخارِجيَّة عن المُضيفِين

---

[744] انظر ص. 9-20 في [RFC3756] في ثَبت المَراجِع.

[745] أَصل الاسم Malicious last hop router attack.

المُستهدَفين، لِذلك قد يُصنَّف هذا الهَجوم ضِمن فِئة إعادة التَّوجيه أَو حَجب الخِدمة حسب الغاية مِنه، وهُو يَتَضمَّن التَّوجيه في كِلتا الحالتين.

يُمكِن مُعالَجة هذا الهُجوم مِن خلال تحديد مَجمُوعة مُوجِّهاتٍ مُتَّصِلةٍ مع الشَّبكة المَحلِّيَّة وإلزام العُقد على التَّعامُل معها حصراً. وُصِف هذا الهُجوم أَوَّلاً في مُسوَّدةٍ أُعدَّت لِتصنيف الهَجمات الَّتي تَتَعلَّق بالعُقد المُتحرِّكة الَّتي تُشغِّل الإصدار السَّادِس من برُوتُوكُول الإنترنِت، ولكنَّها لم تُعتمَد لاحِقاً بصفةٍ مِعياريَّةٍ.[746]

- إلغاء المُوجِّه الافتراضيّ،[747] يَعتمِد هذا الهُجوم على فكرة أَنَّ مُرسِل رِزم الإصدار السَّادِس يَفترِض أَنَّ الوِجهات كُلَّها مَحلِّيَّةٌ إذا لم يُوجَد مَخرَجٌ افتراضيٌّ،[748] وفيه يَخدَع المُهاجِم العُقدة المُستهدَفة ويَجعَلها تُفرِّغ قائِمة المَخارِج الافتراضيَّة لديها، فلا يُمكِنها بعد ذلك الاتِّصال مع الشَّبكة الخارجيَّة. وقد يَلعَب المُهاجِم دَور الوِجهة ويُرسِل رِسالة التماس جارٍ خبيثةٍ نحو مُضيفٍ مَحلِّيٍّ تَقُول أَنَّ مَصدَرها مُضيفٌ مَحلِّيٌّ آخرُ، في حين يَكُون العُنوان لِمُضيفٍ بعيدٍ، فتُخدَع العُقدة المُستهدَفة وتُرسِل الرِّزم الَّتي كانت ستُوجَّه بالأَصل لِلمُضيف البعيد عبر المخرج الافتراضيّ، إلى الجار الخبيث. يُصنَّف هذا الهَجوم على أَنَّه حَجب خِدمةٍ أَو هُجُوم إعادة توجيهٍ، وهُو هُجومٌ يَتضمَّن التَّوجيه.
- انتحال رسائِل إعادة التَّوجيه[749] يَحصُل هذا الهَجوم مِن خِلال إرسال رسائِل إعادة توجيهٍ خبيثةٍ لِدَفع المُضيفِين المَحلِّيِّين لِإرسال رِزم بياناتهم لِوِجهاتٍ أُخرَى إمَّا لِحَجب الخِدمة عنهم أَو لِنسخها بغرض تحليلها ثُمَّ إعادة إرسالها إلى وِجهتها الحقيقيَّة، يُصنَّف هذا الهجوم على أَنَّه هُجُوم حَجب خِدمةٍ أَو هُجُوم إعادة توجيهٍ حسب الغاية مِن تنفيذه وهُو مِن الهَجمات الَّتي تَتَضمَّن التَّوجيه.
- هُجُوم البادِئات المَحلِّيَّة الوهميَّة،[750] وفيه يُعلِن المُهاجِم في شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ عن مَجمُوعةٍ مِن البادِئات بصفتها بادِئاتٍ مَحلِّيَّةٍ، أَي يُمكِن الوصُول إلى العُقد الَّتي تَستضيف عناوينَ مِنها مُباشَرةً مِن غير المُرُور بمُوجِّهٍ، فيُحاوِل المُضيفون إرسال الرِّزم إليها مُباشَرةً، فيَتعذَّر ذلك لِأَنَّها غير مَوجُودةٍ في الشَّبكة المَحلِّيَّة. يُصنَّف هذا الهُجوم على أَنَّه هُجوم حَجب خِدمةٍ وهُو يَتضمَّن التَّوجيه. يُمكِن أَن يُطوَّر الهُجُوم لِيَشمُل الإعلان عن بادِئاتٍ وهميَّةٍ لِتعطيل عمليَّة التَّهيئَة الذَّاتيَّة الآليَّة، ويُدفَع المُضيفون في هذه الحالة إلى تهيئَة مَنافِذهم آليّاً بعناوينَ وهميَّةٍ فيَتعذَّر عليهم الاتِّصال بالشَّبكة، يُسمَّى هذا الهُجوم عندها هُجُوم بادِئة تهيئَة العناوين الوهميَّة[751].

---

[746] انظر [WEB52] في ثَبت المَراجِع.

[747] أَصل الاسم Default router is killed.

[748] تَنصُّ خوارزميَّة إرسال الرِّزم على ما يَأتِي: "لو كانت قائِمة المَخارِج الافتراضيَّة فارِغةً، يَفترِض المُرسِل بأَنَّ الوِجهة مَحلِّيَّةٌ"، والنَّصُّ الأَصيل هُو: «If the Default Router List is empty, the sender assumes that the destination is on-link»، انظره في ص. 35 في [RFC2461] في ثَبت المَراجِع.

[749] أَصل الاسم Spoofed redirect message.

[750] أَصل الاسم Bogus on-link prefix.

[751] أَصل الاسم Bogus address configuration prefix.

- انتحال المُحدَّدات،[752] وفيها يَعمِد المُهاجِم إلى تزويد المُضيفِين بقِيمٍ غير صحيحةٍ لِمُحدَّدات الشَّبكة لِدفعهم لِسُلُوكٍ مُعيَّنٍ. مثلاً قد يُزوِّدهم بعَدَد قفزاتٍ صغيرٍ جداً، فلا يُعود بإمكان رزم البيانات الَّتي يُرسِلوها أن تَصِل إلى وِجهتها، وغالباً ما ستَتَخلَّص المُوجِّهات مِنها، ويَكُون الهُجُوم عندها هُجومَ حِجب خِدمةٍ، ويُمكِن مُواجهته بعدم قُبُول قِيمٍ صغيرةٍ لِحَقل عَدَد القفزات عن طريق برُوتُوكُول اكتشاف الجيران. ويُمكِن أيضاً أن يَعمِد المُهاجِم إلى خِداع العُقد بإخبارها بوجُود خِدمة تهيئَة المُضيف الآليَّة، وعندها يُمكِن تهيئَة المُضيفِين المُستهدَفين بعناوينَ مُنتحَلةٍ وبمُحدِّداتٍ أُخرى نحو مُحدِّدات نِظام تسمية النِّطاقات.
- هُجوم حَجب الخِدمة باستعمال آليَّة اكتشاف الجيران،[753] وفيها تُغمَر الشَّبكة برسائِلَ اكتشاف الجيران فتَنشغِل العُقد والمُوجِّهات بالرَّدِّ عليها، ولا يُمكِن لِعُقدةٍ جديدةٍ أن تَكتشِف جيرانها الَّذين يُخفِقون بالرَّدِّ على رسائِلها لِانشغالهم بمُعالَجة رسائِل الغمر الوهميَّة.
- هَجماتٌ مُعتمِدةٌ على رسائِل الرَّدِّ.[754] برُوتُوكُول اكتشاف الجيران عُرضةٌ لِهَجمات التَّلاعُب بالرُّدود بسبب طبيعة عمله الَّتي تَتَطلَّب غالباً تبادُل رسائِل الالتماس والإعلان، ويُمكِن عندها لِمُهاجِمٍ ما أن يُزوِّر رِسالة رَدٍّ أو أن يَتلاعَب بمُحتوَاها لِإيهام العُقدة المُستهدَفة بمَسأَلة ما أو لِدفعِها لِسُلُوكٍ مُعيَّنٍ. لهَجمات التَّلاعُب برسائِل الرَّدِّ تصنيفٌ مُستقِلٌّ بصفتها هجماتٍ يُمكِن شَنُّها باستعمال برُوتُوكُول اكتشاف الجيران، ويُمكِن التَّصدِّي لها بمُزامنة مُرسِل الإلتماس ومُرسِل الإعلان لِتضييق المَجال الزَّمنيِّ المُتاح لِتزييف الرَّسائِل ولِمَنع استعمال نِسخٍ قديمةٍ مِن الرَّسائِل، يُمكِن أيضاً أن يُطلَب استعمال مُعرِّفاتٍ ظرفيَّةٍ[755] في رسائِل الرَّدِّ باستعمال برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الآمن.

برُوتُوكُولاتٌ ذات صِلةٍ

توسِعة الاكتشاف المَعكُوس لِلجيران[756]

هي توسِعةٌ لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران تَهدُف لِلسَّماح لِعُقدةٍ ما تُشغِّل برُوتُوكُول اكتشاف الجيران باكتشاف عُنوان الإصدار السَّادِس لِعُقدةٍ أُخرَى انطلاقاً مِن عُنوان طَبقة الوَصلة خاصَّتها. طُوِّر البرُوتُوكُول في عام 2001م، ووُصِف في وثيقة طَلب التَّعليقات ذات الاسم الرَّمزيِّ RFC 3122.[757]

[752] أَصل الاسم Parameter spoofing.

[753] أَصل الاسم Neighbor discovery denial of service attack.

[754] أَصل الاسم Reply attack.

[755] أَصل الاسم Nonce، وتَعنِي «ظرفِيٌّ: غرضٌ مُستعمَلٌ أَو مَصنُوعٌ لمرَّةٍ واحِدةٍ فحسب أَو لِمُناسَبةٍ خاصَّةٍ»، انظر ص. 774 في [BKA02] في ثَبت المَراجِع.

[756] أَصل الاسم Inverse Neighbor Discovery، اختصاراً IND.

[757] انظرها في [RFC3122] في ثَبت المَراجِع.

كان الغرض الأَساس مِن تطوير التَّوسِعة هُو استعمالها فِي شَبكات تبديل الأُطر[758]، ولكنَّ استعمالها مُمكِنٌ فِي أَيِّ شَبكة بياناتٍ تَدعَم الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت. تأَثَّرت هذه التَّوسِعة ببرُوتُوكُول اقتران العناوين المَعكُوس الَّذي يُؤَدِّي الوظيفة نفسَها مع الإِصدار الرَّابع من برُوتُوكُول الإنترنِت، وهُو مَوصُوفٌ فِي وثيقة طَلب التَّعليقات ذات الاسم الرَّمزيِّ RFC 2390.[759]

تُعرِّف توسِعة الاكتشاف المَعكُوس لِلجيران رِسالتين جديدتين مِن رسائِل برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، تُستخدَمان وَفقاً لِنَمُوذج طَلب الخِدمة[760] لِأَداء وظيفة اقتران العناوين المَعكُوس، وهاتان الرِّسالتان هُما رِسالة الالتماس لِلاكتشاف المَعكُوس لِلجار ورِسالة الإِعلان لِلاكتشاف المَعكُوس لِلجار[761]، وهُما مُميَّزتان بقِيمة حَقل النَّوع 141 و142 على التَّرتيب.

برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الآمِن[762]

هُو توسِعةٌ لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران، يَهدُف إِلى تَأمين تبادُل رسائِل البرُوتُوكُول بين عُقد الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، خاصَّةً فِي شبكات البيانات الَّتي يَكُون تأمين وسط الاتصال فيها صَعباً نحو الشَّبكات اللَّاسلكيَّة. طُوِّرت هذه التَّوسِعة فِي عام 2005م ووُصِفت فِي وثيقة طَلب التَّعليقات ذات الاسم الرَّمزيِّ RFC 3971.[763]

مع أَنَّ المِعيار الأَصيل لِبرُوتُوكُول اكتشاف الجيران دَعَا إِلى استعمال حِزمة أَمن برُوتُوكُول الإنترنِت لِتَأمين عمله، فإِنَّ برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الآمن لا يَعتمِد على الحِزمة، بل يُعرِّف مَجمُوعةً مِن الآليَّات الجديدة الَّتي تَتَضمَّن خِياراتٍ جديدةً لِلبرُوتُوكُول نحو خِيار التَّوقيع باستعمال خوارزميَّة رِيفِست وشَامِير وأَدِلمَان[764]، واعتماد العناوين المُولَّدة بالتَّعمية[765]، وشَهادات اعتمادٍ لِلمَسارات[766] لِلتَّحقُّق مِن كونها مَساراتٍ آمنةً ومَوثُوقةً.

---

[758] أَصل الاسم Frame relay.

[759] انظره فِي [RFC2390] فِي ثَبت المَراجِع.

[760] أَصل الاسم Client-server model، وهُو نَمُوذج عملٍ لِلتَّطبيقات فِي شَبكة بياناتٍ تُوزَّع فيها المُعالجة بين عُملاءٍ ومُخدِّماتٍ، انظر ص. 74-75 فِي [BKE01] فِي ثَبت المَراجِع.

[761] أَصل اسمي الرِّسالتين على التَّرتيب: Inverse neighbor discovery solicitation وInverse neighbor discovery advertisement.

[762] أَصل الاسم SEcure Neighbor Discovery، اختصاراً SEND.

[763] انظره فِي [RFC3971] فِي ثَبت المَراجِع.

[764] أَصل الاسم Rivest-Shamir-Adleman، اختصاراً RSA، وهِي خوارزميَّة تعميةٍ باستعمال مِفتاحٍ عامٍ طُوِّرت فِي عام 1978م، وسُمِّيت على أسماء مُطوِّريها الثَّلاثة وهُم: لِيُونَارد أَدِلمَان Leonard Adleman (1945-) وعَدِي شَامِير (بالعِبريَّة: עדי שמיר) (1952-) ورُونَالد رِيفِست Ronald Rivest (1947-)، انظرها فِي [ART48] فِي ثَبت المَراجِع.

[765] أَصل الاسم Cryptographically Generated Addresses، اختصاراً CGA.

[766] أَصل الاسم Certification paths.

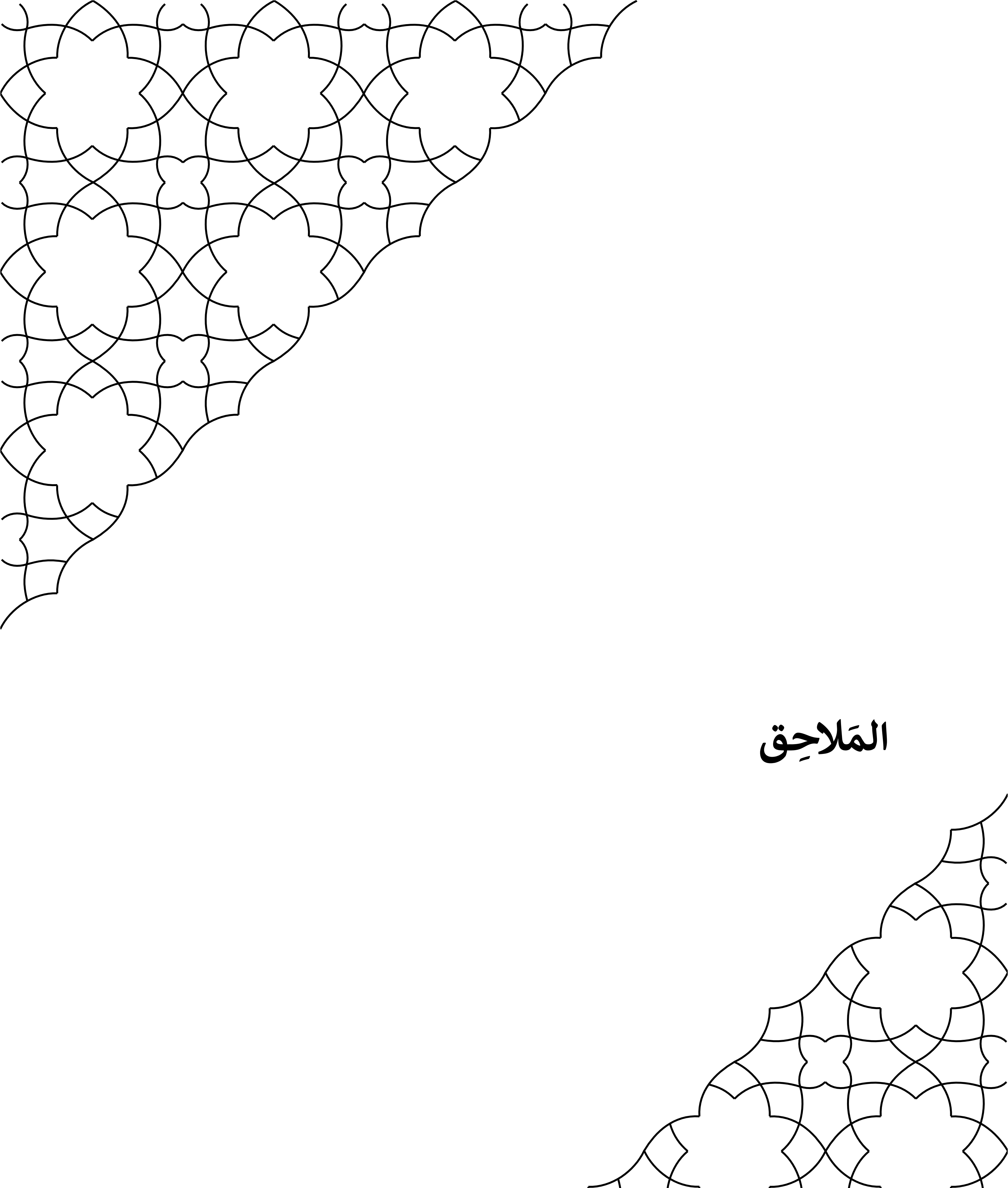
حُدِّث البرُوتُوكُول في عام 2012م بوثيقتي طَلب تعليقاتٍ حملتا الاسمين الرَّمزيِّن RFC 6494 وRFC 6495 على التَّرتيب،[767] خُصِّصت الأُولَى لِدعم استعمال البِنية التَّحتيَّة لِلمِفتاح العامِّ لِلمَوارِد[768]، في حين عَرَّفت الأُخرَى بِنية شهادة الاعتماد.[769]

كان التَّمام مِن تَأليفه في 20 جُمادَى الأُولَى 1443هـ
المُوافِق 24 دِيسمبر 2021م في بَايُون في فرنسة

[767] انظرهما في [RFC6494] و[RFC9495] على التَّرتيب.

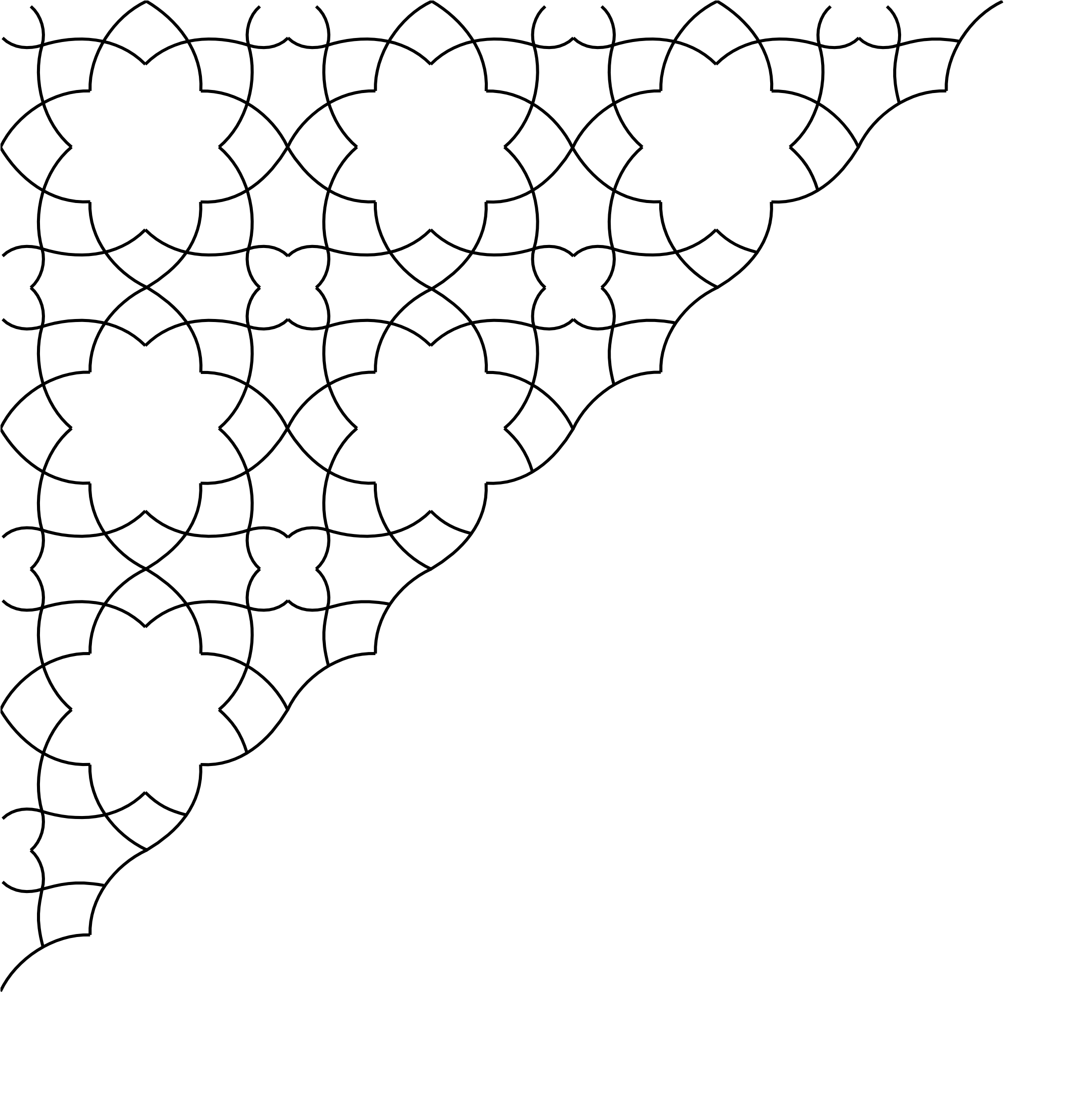
[768] أَصل الاسم Resource Public Key Infrastructure، اختصاراً RPKI

[769] أَصل الاسم Certificate Profile.



المَلاحِق

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



المُلحَق أ: خِيارات الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت



الخِيارات مُرتَّبةٌ تصاعديَّاً وَفقاً لِقِيمة حَقل الرَّقم، لَو غاب رقمٌ ما يَكُون الخِيار غير مُستعمَلٍ أَو لا تَتَوفَّر بياناتٌ عنه.

الجدول (أ-1): خِيارات الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت

<table>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار نهاية قائمة الخِيارات[770]</td><td>يُحدِّد نِهاية قائِمة الخِيارات لا نهاية الخِيار، لِذلك يُضاف مرَّةً واحِدةً فقط فِي التَّروِيسة بعد الخِيارات كُلِّها.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7
النَّوع = 0
الشَّكل (أ-1): بِنية خِيار نهاية قائِمة الخِيارات</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار لا عمليَّة[771]</td><td>يُستخدَم بين الخِيارات. مثلاً، لِمُحاذاة بداية الخِيار التَّالِي عند حُدُود 32 بتاً.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7
النَّوع = 1
الشَّكل (أ-2): بِنية خِيار لا عمليَّة</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار الأَمن الرَّئيس[772]</td><td>يُستخدَم في الأنظمة البينيَّة أو الطَّرفيَّة في الإنترنِت مِن أَجل:
1. نقل البيانات بين مُضيفِين هُما المَصدر والوِجهة وَفقاً لِنَمُوذج الأَمن المُعتمَد فِي الشَّبكة.
2. التَّحقق مِن كُون الرِّزمة صالِحةً لِلنَّقل مِن المَصدَر وتوصيلها إِلى الوِجهة.
3. التَّأكُّد مِن أَنَّ المَسار الَّذي تَسلُكه الرِّزمة مَحمِيٌّ إِلى الدَّرجة الَّتي تُحدِّدها الجهة المَسؤُولة عن أَمن الشَّبكة (سُلطة الحماية).</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 23
النَّوع = 130 | الطُّول | تصنيف المُستوَى | أَعلام سُلطة الحماية
الشَّكل (أ-3): بِنية خِيار الأَمن الأَساس</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td></tr>
</table>

770 أَصل الاسم End of option list option، انظر ص. 15 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

771 أَصل الاسم No operation option، انظر ص. 16 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

772 أَصل الاسم DoD Basic Security option، انظر ص. 2 في [RFC1008] في ثَبت المَراجِع.

الاسم	خِيار التَّوجيه غير المُقيَّد بمَسار المَصدَر[773]	يَسمَح لمَصدَر رِزمة البيانات بتزويد البوَّابات بمَعلُوماتٍ لِتوجيه الرِّزمة نحو وِجهتها. هذا الخِيار غير مُقيَّدٍ لِأَنَّ البوَّابات غير مُلزَمةٍ بالمَعلُومات المَوجُودة بالخِيار والَّتي أَضافها مَصدَر الرِّزمة، وبِإمكانها توجيه الرِّزمة عبر أَيِّ مَسارٍ آخرَ تختاره.
حَقل النَّوع		
الرَّقم	الصَّنف	حَقل النَّسخ
3	0	1

0	7	15	23
النَّوع = 131	الطُّول	مُؤَشِّر	بيانات المَسار

الشَّكل (أ-4): بِنية التَّوجيه غير المُقيَّد بمَسار المَصدَر

الاسم	خِيار الوَسمة الزَّمنيَّة[774]	يُستخدَم لِتَتَبُّع الزَّمن المُنقضِي في أثناء انتقال ومُعالَجة الرِّزمة عبر مَسارها. يُضيف كُلُّ مُضيفٍ عُنوانه ووَسمةً زمنيَّةً عند مُعالَجة الرِّزمة، ويُمكِن أن تُضاف الوَسمات الزَّمنيَّة فقط مِن غير العناوين. تَكُون الوَسمات الزَّمنيَّة أَعداداً بطُول 32 بتاً، تُمثِّل الزَّمن المُنقضِي مِنذ مُنتصف اللَّيلة السَّابِقة حسب التَّوقيت العالميِّ مُقدَّراً بالمِيلي ثانية، وبالإمكان أيضاً أَن تُمثِّل الوَسمات قِيماً زمنيَّةً نسبيَّةً قِياساً إِلى زمنٍ مَرجعيٍّ آخرَ.
حَقل النَّوع		
الرَّقم	الصَّنف	حَقل النَّسخ
4	2	0

0	7	15	23	27	31
النَّوع = 68	الطُّول	مُؤَشِّر		الطَّفح	أَعلامٌ
عُنوان الإنترنِت 1					
وَسمةٌ زمنيَّةٌ 1					
عُنوان الإنترنِت 2					
وَسمةٌ زمنيَّةٌ 2					
⋮					

الشَّكل (أ-5): بِنية خِيار الوَسمة الزَّمنيَّة

الاسم	خِيار الأَمن المُوسَّع[775]	يَسمَح بنقل مَعلُومات أَمنٍ إِضافيَّةٍ تَزيد على ما يَسمَح به خِيار الأَمن الأَصيل استجابةً لِمُتطلَّبات الجِهات الَّتي تُدير خِدمات الأَمن في الشَّبكة.
حَقل النَّوع		
الرَّقم	الصَّنف	حَقل النَّسخ
5	0	1

0	7	15	23
النَّوع = 131	الطُّول	تنسيق التَّرميز	مَعلُومات أَمنٍ إِضافيَّة

الشَّكل (أ-6): بِنية خِيار الأَمن المُوسَّع

[773] أَصل الاسم Loose source routing option، انظر ص. 18 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

[774] أَصل الاسم Internet timestamp option، انظر ص. 22 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

[775] أَصل الاسم DoD extended security option، انظر ص. 13 في [RFC1108] في ثَبت المَراجِع.

<table>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار الأَمن التِّجاريّ[776]</td><td>كان الغرض مِن تطويره تأمين توسِعةٍ لِخِيار الأَمن الأَصيل لِبرُوتُوكُول الإنترنت مِن أجل دَعم مُتطلّبات الاستخدام التِّجاري في أَنظمة التَّشغيل المُختلِفة، ولكنَّ العمل توقَّف في مرحلة إعداد مُسوَّدة المِعيار.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 23
| النَّوع = 7 | الطُّول | نِطاق التَّرجمة | وَسمات |
الشَّكل (أ-7): بِنية خِيار الأَمن التِّجاريّ</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>6</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار المَسار المُسجَّل[777]</td><td>يَسمَح بتسجيل المَسار الَّذي تَسلُكه الرِّزمة في ترويستها. يُضيف كُلُّ موجِّهٍ يُوجِّه الرِّزمة، عند استعمال الخِيار، عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت الخاصَّ بالمَنفَذ الَّذي وُجِّهت الرِّزمة عبره إلى حَقل "بيانات المسار" في هذا الخِيار.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 23
| النَّوع = 7 | الطُّول | مُؤَشِّر | بيانات المَسار |
الشَّكل (أ-8): بِنية خِيار المَسار المُسجَّل</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>7</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار مُعرِّف التّدفُّق[778]</td><td>يُؤمِّن طَريقةً لِنقل مُعرِّف التَّدفُّق المُستعمَل في ساتنِت عبر شبكةٍ لا تَدعم مَفهُوم التَّدفُّق.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 31
| النَّوع = 136 | الطُّول = 4 | مُعرِّف التَّدفُّق |
الشَّكل (أ-9): بِنية خِيار مُعرِّف التّدفُّق</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>8</td><td>0</td><td>1</td></tr>
</table>

[776] أَصل الاسم Commercial IP security option، انظر ص. 2 في [WEB44] في ثَبت المَراجِع.

[777] أَصل الاسم Record route option، انظر ص. 20 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

[778] أَصل الاسم Stream identifier option، انظر ص. 21 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

<table>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار التَّوجيه المُقيَّد بمَسار المَصدَر[779]</td><td>يَسمَح لِمَصدَر رِزمة البيانات بتزويد البوَّابات بمَعلُوماتٍ لِتوجيه الرِّزمة نحو وِجهتها. وهُو مُقيَّدٌ لِأنَّ البوَّابات مُلزَمة بالمَعلُومات المَوجُودة بالخِيار، وعليها أن تُوجِّه الرِّزمة وَفقاً لها.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 23
النَّوع = 137 | الطُّول | مُؤَشِّر | بيانات المَسار
الشَّكل (أ-10): بِنية خِيار التَّوجيه المُقيَّد بمَسار المَصدَر</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>9</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار استشعار وَحدة النَّقل العُظمَى[780]</td><td>يُستعمَل لِلتَّعرُّف على القِيمة الصُّغرَى لِوَحدة النَّقل العُظمَى في الشَّبكات الَّتي مَرَّت فيها الرِّزمة في أثناء عُبُورها لِمَسارها. يُقارِن كُلُّ مُوجِّهٍ يَستقبِل الرِّزمة قِيمة حَقل وَحدة النَّقل العُظمَى في هذا الخِيار مع قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى في مَنفَذه الَّذي ستُوجَّه الرِّزمة عبره، إذا كانت قِيمة وَحدة المُوجِّه أصغرَ، فإنَّه يَضَعها في الحَقل بدلاً عن القِيمة القديمة، وإلا فإنَّه يُبقِي القِيمة القديمة كما هي دون تغيير.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 31
النَّوع = 11 | الطُّول = 4 | قيمة وَحدة النَّقل العُظمَى
الشَّكل (أ-11): بِنية خِيار استشعار وَحدة النَّقل العُظمَى</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>11</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار الرَّدِّ على استشعار وَحدة النَّقل العُظمَى[781]</td><td>يُستعمَل لِلردِّ على خِيار استشعار وَحدة النَّقل العُظمَى، وهو يَحتوِي القِيمة الصُغرَى الَّتي عُثِر عليها، ويُضاف إلى رِزمةٍ مُوجَّهةٍ نحو المُضيف المَصدَر الَّذي ولَّد خِيار الاستشعار.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 31
النَّوع = 12 | الطُّول = 4 | قيمة وَحدة النَّقل العُظمَى
الشَّكل (أ-12): بِنية خِيار الرَّدِّ على استشعار وَحدة النَّقل العُظمَى</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>12</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>

[779] أَصل الاسم Strict source route option، انظر ص. 19 في [RFC791] في ثَبت المَراجِع.

[780] أَصل الاسم Probe MTU option، انظر ص. 2 في [RFC1063] في ثَبت المَراجِع.

[781] أَصل الاسم Reply MTU option، انظر ص. 3 في [RFC1063] في ثَبت المَراجِع.

<table>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار التَّحكُّم بالوصُول التَّجريبيُّ[782]</td><td>طُوِّر في عام 1989م، وهو جُزءٌ مِن مَجمُوعة إجراءاتٍ أُعِدَّت لِلسَّماح لِلمُنظَّمات الدَّوليَّة الَّتي تُشغِّل شَبكات بياناتٍ غير مُتجانِسةٍ في بِنيتها بإدارة تدفُّق الرِّزم نحو شَبكاتها.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">يُوجَد بِنيتان لِلخِيار: وَاحِدةٌ لِلبِنية المَركَزيَّة والأُخرَى لِلبِنية غير المَركَزيَّة.</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>14</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار تَتَبُّع المَسار باستعمال برُوتُوكُول الإنترنِت[783]</td><td>طُوِّر لِيُساعِد في عمل أَداة تَتَبُّع المَسار. يَحتوِي حُقُولاً لِتخزين عَدَد القَفزات على مَسار الرِّزمة في الاتجاهين المُباشَر والعكسيِّ لِلمَسار، وعلى عُنوان برُوتُوكُول الإنترنِت لِمَصدَر الرِّزمة.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 31
النَّوع = 82 | الطُّول = 12 | رَقم المُعرِّف
عدد القَفزات الرَّاجِعة | عدد القَفزات الصَّادِرة
عُنوان برُوتُوكُول الإنترنَت للمَصدر الأَصل
الشَّكل (أ-13): بِنية خِيار تَتَبُّع المَسار</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>18</td><td>2</td><td>0</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار إنذار المُوجِّه باستعمال برُوتُوكُول الإنترنِت[784]</td><td>يُستعمَل لِتنبيه المُوجِّه لِيَفحَص مُحتوَيات الرِّزمة بدقَّةٍ، مِن خلال ضَبط قِيمة عَلَم الإنذار إلى قِيمة الصِّفر.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 31
النَّوع = 148 | الطُّول = 4 | عَلَم الإنذار
الشَّكل (أ-14): بِنية خِيار إنذار المُوجِّه</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>20</td><td>0</td><td>1</td></tr>
</table>

[782] أَصل الاسم Visa option، انظر ص. 494 في [ART49] في ثَبت المَراجِع.

[783] أَصل الاسم Traceroute using an IP option، انظر ص. 3 في [RFC1393] في ثَبت المَراجِع.

[784] أَصل الاسم IP router alert option، انظر ص. 3 في [RFC2113] في ثَبت المَراجِع.

<table>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار التَّوصيل مُتعدِد الوِجهات المُدار بواسطة المُرسِل[785]</td><td>يُزوِّد مُرسِل رِزَم بياناتٍ بآليَّة توصيلٍ مُباشَرةٍ مُتعدِدة الوِجهات تُسمَّى نمط البثَّ العامِّ المُوجَّه الانتقائِيِّ.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15
النَّوع = 131 | الطُّول | عناوين برُوتُوكُول الإنترنِت
الشَّكل (أ-15): بِنية خِيار البثِّ العامِّ المُوجَّه الانتقائِيّ</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>21</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار رِزم التَّيَّار الصَّاعِد في البثِّ المَجمُوعاتِيّ[786]</td><td>يُستعمَل مِن أَجل المُساعَدة في توجيه رِزم التَّيَّار الصَّاعِد في شجرة البثِّ المَجمُوعاتِيّ. يَحتوِي حَقلاً يُستعمَل لِتخزين عُنوان مُوجِّه التَّيَّار الصَّاعِد.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">0 7 15 31
النَّوع = 152 | الطُّول = 8 | مَحجُوز
عُنوان مُوجِّه التَّيَّار الصَّاعِد
الشَّكل (أ-16): بِنية خِيار رِزم التَّيَّار الصَّاعِد في البثِّ المَجمُوعاتِيّ</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>24</td><td>0</td><td>1</td></tr>
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيار البِداية السَّرِيعة[787]</td><td>يُستعمَل مِن أَجل تحديد مُعدَّل نقل البيانات المُتاح لِاستعماله في عمليَّة البِداية السَّرِيعة، عِوضاً عن الاعتماد على عمليَّة البداية البطيئَة في برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">يُمثَّل الخِيار برسالتين: طَلبٍ وردٍ.</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>25</td><td>0</td><td>1</td></tr>
</table>

[785] أَصل الاسم Sender directed multi-destination delivery option، انظر ص. 2 في [RFC1770] في ثَبت المَراجِع.

[786] أَصل الاسم Upstream multicast packet option، انظر ص. 5 في [WEB45] في ثَبت المَراجِع

[787] أَصل الاسم Quick-start option، انظر ص.10-13 في [RFC4782] في ثَبت المَراجِع

<table dir="rtl">
<tr><td>الاسم</td><td colspan="2">خِيارات تجريبيَّة[788]</td><td>تُستعمَل قيمة الرَّقم 30 مع الأزواج المُمكِنة لِلصَّنف وعَلَم النَّسخ، ونتيجةً لِذلك يُوجَد أَربعة احتمالاتٍ لِقيمة حَقل النَّمَط. هذا الخِيار مُخصَّصٌ لِأَغراضٍ تجريبيَّة.</td></tr>
<tr><td colspan="3">حَقل النَّوع</td><td rowspan="3">بِنية الخِيار غير مُوضَّحةٍ في المِعيار.</td></tr>
<tr><td>الرَّقم</td><td>الصَّنف</td><td>حَقل النَّسخ</td></tr>
<tr><td>30</td><td>0-2</td><td>0-1</td></tr>
</table>

[788] انظر ص. 3 في [RFC4727] في ثَبت المَراجِع.

المُلحَق ب: أَفضية البثِّ المَجمُوعاتيِّ في الإِصدار الرَّابِعِ مِن برُوتُوكُول الإِنترنت

الأَفضية مُرتَّبةٌ تصاعديّاً وَفقاً لِلقِيمة العَدَديَّة.[789]

الجدول (ب-1): أَفضيَة البثِّ المَجمُوعاتيِّ في الإصدار الرَّابِع من بِرُوتُوكُول الإنترنت[790]

فضاء العناوين	الاستعمال	العُنوان الأَصغر	العُنوان الأَكبر	عَدَد العناوين[791]
224.0.0.0/24	مَجمُوعة عناوين التَّحكُّم في الشَّبكة المَحلِّيَّة[792]	224.0.0.0	224.0.0.255	$256 = 2^8$ [793]
224.0.1.0/24	مَجمُوعة عناوين التَّحكُّم بين الشَّبكيَّة[794]	224.0.1.0	224.0.1.254	$256 = 2^8$ [795]
لا يُمكِن تمثيله[796]	مَجمُوعة العناوين المُخصَّصة الأُولَى[797]	224.0.2.0	224.0.255.255	$254 * 2^8 = 65024$ [798]
224.1.0.0/16	فضاءٌ مَحجُوزٌ	224.1.0.0	224.1.255.255	$65536 = 2^{16}$
224.2.0.0/16	مَجمُوعة عناوين بِرُوتُوكُولي الإعلان عن الجلسة والإعلان عن دليل الجلسة[799]	224.2.0.0	224.2.255.255	$65536 = 2^{16}$
224.3.0.0/16 و224.4.0.0/16	مَجمُوعة العناوين المُخصَّصة الثَّانِية[800]	224.3.0.0	224.4.255.255	$2 * 2^{16} = 131072$ [801]

[789] انظر صفحة سِجلِّ فضاء عناوين البثِّ المَجمُوعاتيِّ لِلإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت في [WEB03] في ثَبت المَراجِع لِمَعلُوماتٍ مُحدَّثةٍ.

[790] انظر ص.3 في [RFC5771] في ثَبت المَراجِع.

[791] لا تُورِد الوثيقة RFC 5771 إلا عَدَد العناوين الإجماليّ، مِن غير تبيان كيفيَّة حِسابها. لِحِساب عَدَد العناوين: إذا كان امتداد الفضاء مُتوافِقاً مع مُضاعَفات العَدَد 2، فإنَّه يُحسَب باستعمال العَلاقة: 2^n، وn هي عَدَد البتات المُتغيِّرة ضِمن مَجمُوعة عناوين الفضاء، وإلا فيَلزَم تجزئة الفضاء إلى أَفضيةٍ أَصغرَ مُتوافِقةٍ مع مُضاعَفات العَدَد 2، ثُمَّ حِساب عَدَد العناوين في كُلٍّ مِنها، ثُمَّ حِساب المَجمُوع الإجماليّ.

[792] أَصل الاسم Local network control block، وهي «مَحجُوزةٌ مِن أَجل استعمالات بِرُوتُوكُولات التَّوجيه أَو بِرُوتُوكُولات اكتشاف الطُّوبُولُوجيا مُنخفِضة المُستوَى أَو بِرُوتُوكُولات الصِّيانة»، انظر ما جاء في ص. 3 في [RFC2780] في ثَبت المَراجِع.

[793] عَدَد البتات المُتغيِّرة ضِمن مَجمُوعة عناوين الفضاء هُو 8 بتاتٍ، وهي بتات الخانة الرَّابِعة مِن العُنوان.

[794] أَصل الاسم Internetwork control block.

[795] عَدَد البتات المُتغيِّرة ضِمن مَجمُوعة عناوين الفضاء هُو 8 بتاتٍ، وهي بتات الخانة الرَّابِعة مِن العُنوان.

[796] لا يُمكِن تمثيل الفضاء باستعمال تدوين البادِئة لِأَنَّه يَمتدُّ على مَجال عناوينَ غير مُتوافِقٍ مع مُضاعفات العَدَد 2، يَشمُل هذا على الأَفضية كُلِّها الَّتي لا يُمكِن تمثيلها في هذا الجدول.

[797] أَصل الاسم Ad-hoc block I.

[798] 254 فضاءً في كُلٍّ مِنها 2^8 عُنواناً.

[799] أَصل الاسم لِلأَوَّل: Session Announcement Protocol، اختصاراً SAP، ولِلثَّاني Session Directory announcement Protocol اختصاراً SDP، انظر [RFC2974] في ثَبت المَراجِع.

[800] أَصل الاسم Ad-hoc block II.

[801] فضاءان، عَددَ البتات المُتغيِّرة ضِمن مَجمُوعة كُلٍّ مِنهما هُو 16 بتاً.

لا يُمكِن تمثيله	فضاءٌ مَحجُوزٌ	224.5.0.0	224.255.255.255	$= 251 * 2^{16}$ 16449536[802]
لا يُمكِن تمثيله	فضاءٌ مَحجُوزٌ	225.0.0.0	231.255.255.255	$= 7 * 2^{24}$ 117440512[803]
232.0.0.0/8	مَجمُوعة عناوين البثّ المَجمُوعاتيّ مُحدَّد المَصدَر[804]	232.0.0.0	232.255.255.255	$= 2^{24}$ 16777216[805]
لا يُمكِن تمثيله	مَجمُوعة عناوين گلُوب[806]	233.0.0.0	233.251.255.255	$= 252 * 2^{16}$ 16515072[807]
232.252.0.0/14	مَجمُوعة العناوين المُخصَّصة الثَّالِثة[808]	233.252.0.0.0	233.255.255.255	$= 4 * 2^{16}$ 262144
لا يُمكِن تمثيله	فضاءٌ مَحجُوزٌ	234.0.0.0	234.255.255.255	$= 2^{24}$ 16777216
لا يُمكِن تمثيله	مَجمُوعة العناوين المُراقَبة إشرافيّاً[809]	235.0.0.0	239.255.255.255	$= 5 * 2^{24}$ 83886080[810]

[802] 251 فضاءً، عَددَ البتات المُتغيِّرة ضِمن مَجمُوعة كُلٍّ مِنها هُو 16 بتاً.

[803] 7 أَفضيةٍ، عَددَ البتات المُتغيِّرة ضِمن مَجمُوعة كُلٍّ منهما هُو 24 بتاً.

[804] أَصل الاسم Source-specific multicast block، انظر [RFC4607] في ثَبت المَراجِع.

[805] فضاءٌ واحِدٌ، عَدَد البتات المُتغيِّرة فيه هُو 24 بتاً.

[806] أَصل الاسم GLOP، لا يَبدُو أَنَّها اختصارٌ لِمَجمُوعة كلماتٍ ولا تَذكُر وثائِق طَلب التَّعليقات ذات الصِّلة أَيَّ مَعلُوماتٍ عن أَصل الاسم. انظر [RFC3180] في ثَبت المَراجِع.

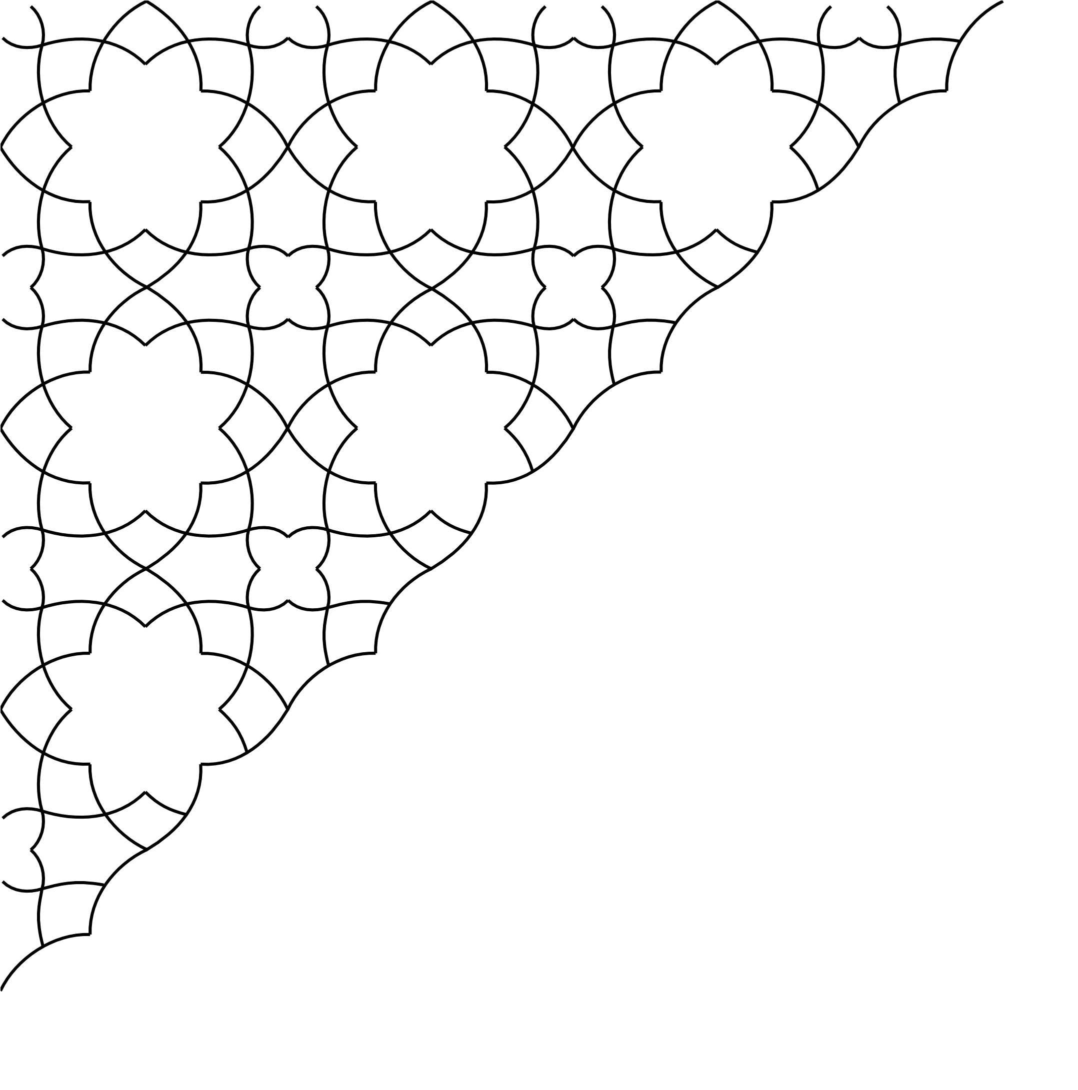
[807] 252 فضاءً، عَدَد البتات المُتغيِّرة ضِمن مَجمُوعة كُلٍّ مِنها هُو 16 بتاً.

[808] أَصل الاسم Ad-hoc block III.

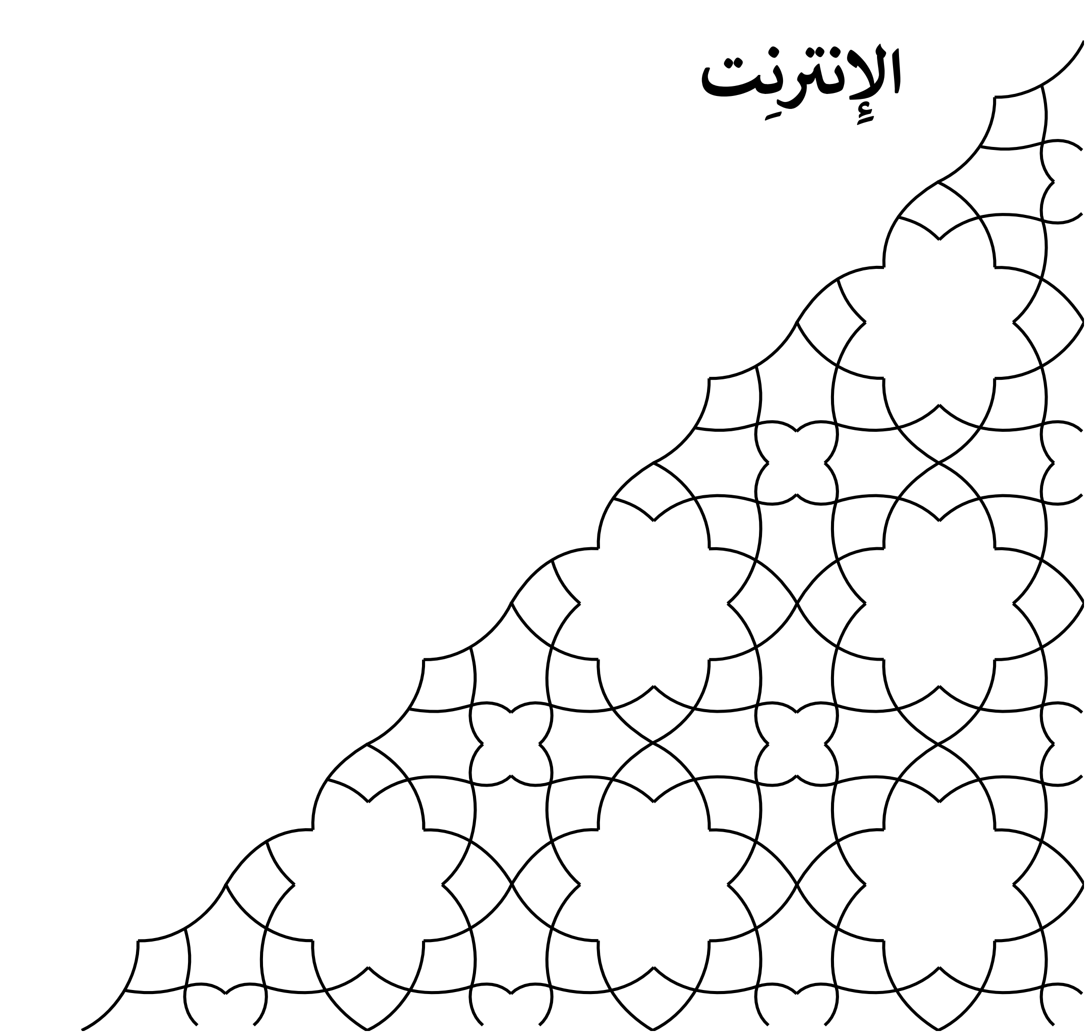
[809] أَصل الاسم Scoped multicast ranges.

[810] خمسة أَفضيةٍ، وعَدَد البتات المُتغيِّرة ضِمن كُلِّ مَجمُوعة مِنها هُو 24 بتاً.

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



المُلحَق ج: أَفضيةٌ مَحجُوزةٌ مِن فضاء برُوتُوكُول الإنترنِت



أَوَّلاً: الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

الأَفضية مُرتَّبةٌ تصاعديّاً وَفقاً لِلقِيمة العَدَديَّة.[811]

الجدول (ج-1): أَفضيةٌ مَحجُوزةٌ في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت[812]

فضاء العناوين	تاريخ الحجز	الاستعمال
0.0.0.0/8	سِبتَمبَر 1981	يُستخدَم أيُّ عُنوانٍ مِن هذا الفضاء لِيَكُون عنوانَ مَصدَرٍ لِمُضيفٍ يُنجِز عمليَّة التَّهيئة الذَّاتِيَّة لِلحُصُول على عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت.[813]
10.0.0.0/8	فِبرَاير 1996	مَحجُوزٌ بصفته فضاءً خاصّاً ضِمن أَفضية الصَّنف A، يُمكِن أن تُستخدَم عناوينُ مِن هذا الفضاء لِتَكُون عناوينَ مَصدَرٍ أَو وِجهةٍ في رِزَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[814]
100.64.0.0/10	أَبريل 2012	مَحجُوزٌ لِاستعماله بادِئةً مِن أَجل فضاء العناوين المُشترَك.[815]
127.0.0.0/8	سِبتَمبَر 1981	فضاء عناوين الحَلقة العكسيَّة، يُستخدَم أيُّ عُنوانٍ مِن هذا الفضاء لِيَكُون عُنواناً لِلمُضيف المَحلِّيِّ في أيِّ مُضيفٍ لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[816]
169.254.0.0/16	مايو 2005	مَحجُوزٌ مِن أَجل عناوين الوصلة المَحلِّيَّة في الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[817]
172.16.0.0/12	فِبرَاير 1996	مَحجُوزٌ بصفته فضاءً خاصّاً ضِمن أَفضية الصَّنف B، يُمكِن أن تُستخدَم عناوينُ مِن هذا الفضاء لِتَكُون عناوينَ مَصدَرٍ أَو وِجهةٍ في رِزَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[818]
192.0.0.0/24	يَناير 2010	مَحجُوزٌ لِهيئَة أَرقام الإنترنِت المُخصَّصة مِن أَجل دَعم مَهمَّات مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت.[819]
192.0.0.0/29	يُونيُو 2011	مَحجُوزٌ مِن أَجل تقنيَّة المُكدِّس المُزدَوَج المُبسَّطة.[820]
192.0.2.0/24	يَناير 2010	مَحجُوزٌ مِن أَجل عمليَّات التَّوثيق.[821]

[811] انظر صفحة سِجلّ الأَفضية المَحجُوزة لِلإصدار الرَّابِع مِن بروتوكول الإنترنِت في [WEB46] في ثَبت المَراجِع لِمَعلُوماتٍ مُحدَّثةٍ.

[812] انظر ص.3-15 في [RFC6890] في ثَبت المَراجِع.

[813] أَصل الاسم Autoconfiguration، انظر ص. 30 في [RFC1112] في ثَبت المَراجِع.

[814] انظر ص. 4 في [RFC 1918] في ثَبت المَراجِع.

[815] أَصل الاسم Shared address space، انظر ص. 8 في [RFC6598] في ثَبت المَراجِع.

[816] أَصل الاسم Loopback، انظر ص. 31 في [RFC1112] في ثَبت المَراجِع.

[817] انظر ص. 31 في [RFC3927] في ثَبت المَراجِع.

[818] انظر ص. 4 في [RFC1918] في ثَبت المَراجِع.

[819] انظر ص. 3 في [RFC6890] في ثَبت المَراجِع.

[820] أَصل الاسم Dual-stack lite، انظر ص. 8 في [RFC6333] في ثَبت المَراجِع.

[821] انظر ص. 2 في [RFC5737] في ثَبت المَراجِع.

192.88.99.0/24	يُونيُو 2001	فضاء عناوينَ مَحجُوزٌ مِن أَجل عناوين البثِّ نحو الأَقرب لِتقنيَّة 6 إلى 4.[822]
192.168.0.0/16	فِبرَاير 1996	فضاءٌ مَحجُوزٌ بصفته فضاءً خاصَّاً ضِمن أَفضية الصَّنف C، يُمكِن أن تُستخدَم عناوينُ مِن هذا الفضاء لتَكُون عناوينَ مَصدَرٍ أَو وِجهةٍ في رِزَم الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترِنت.[823]
198.18.0.0/15	مَارس 1999	فضاء عناوينَ مَحجُوزٌ مِن أَجل العمليَّات المُعتمِدة على أَساس تقييم الأَداء.[824]
198.51.100.0/24	يَناير 2010	فضاء عناوينَ مَحجُوزٌ مِن أَجل عمليَّات التَّوثيق.[825]
203.0.113.0/24	يَناير 2010	فضاء عناوينَ مَحجُوزٌ مِن أَجل عمليَّات التَّوثيق.[826]
240.0.0.0/4	أَغسطُس 1989	فضاء عناوين الصَّنف E، ومَحجُوزٌ لِاستخداماتٍ مُستقبليَّةٍ.[827]
255.255.255.255/32	أُكتُوبر 1984	عُنوان بثٍّ عامٍّ يُمكِن استعماله في أَيِّ شَبكةٍ مَحلِّيَّةٍ.[828]

ثانِياً: الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت

الأَفضية مُرتَّبةٌ تصاعديَّاً وَفقاً لِلقيمة العَدَديَّة.[829]

الجدول (ج-2): أَفضيةٌ مَحجُوزةٌ في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت[830]

فضاء العناوين	تاريخ الحجز	الاستعمال
::/128	فِبرَاير 2006	العُنوان غير المُحدَّد.[831]
::1/128	فِبرَاير 2006	عُنوان الحلقة العكسيَّة.[832]
ff9b::/96	أُكتُوبر 2010	مُخصَّصٌ لِمُترجِمات العناوين بين الإصدارين الرَّابِع والسَّادِس.[833]
::ffff:0:0/96	فِبرَاير 2006	مُخصَّصٌ لِلعناوين المُقترِنة مع الإصدار الرَّابِع.[834]

822 أَصل الاسم 6 to 4 anycast address، انظر ص. 2 في [RFC3068] في ثَبت المَراجِع.

823 انظر ص. 4 في [RFC1918] في ثَبت المَراجِع.

824 أَصل الاسم Benchmarking، انظر التَّعريب في ص. 34 في [BKA01] في ثَبت المَراجِع، وانظر أَيضاً ص.25 في [RFC2544].

825 انظر ص. 2 في [RFC5737] في ثَبت المَراجِع.

826 انظر الهامِش السَّابِق.

827 انظر ص. 3 في [RFC1112] في ثَبت المَراجِع.

828 انظر ص. 6 في [RFC919] في ثَبت المَراجِع.

829 انظر صفحة سِجلِّ الأَفضية المَحجُوزة لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنت في [WEB31] في ثَبت المَراجِع لِمَعلُوماتٍ مُحدَّثةٍ.

830 انظر ص. 14-20 في [RFC6890] في ثَبت المَراجِع.

831 انظر ص. 9 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

832 انظر الهامِش السَّابِق.

833 أَصل الاسم IPv4/IPv6 translators، انظر ص. 5 في [RFC6052] في ثَبت المَراجِع.

834 انظر ص. 9 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

100::/64	يُونيُو 2012	بادِئة الاستبعاد الَّتي تُستعمَل في عمليَّة التَّوجيه والتَّرشيح لِلتَّخلُّص مِن رِزم البيانات.[835]
2001::/23	سِبتَمبَر 2000	مُخصَّصٌ لِعمليَّة تطوير إرشاداتٍ لِمنح أَفضية الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[836]
2001::/32	فِبرَاير 2006	مُخصَّصٌ لِدعم تقنية تِيرِيدُو لِلانتقال مِن الإصدار الرَّابِع نحو الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[837]
2001:1::48/1	أُكتُوبر 2015	مُخصَّصٌ لِلبثِّ نحو الأَقرب لِبرُوتُوكُول التَّحكُّم بالمنافِذ.[838]
2001:1::48/2	فِبرَاير 2017	مُخصَّصٌ لِلبثِّ نحو الأَقرب في برُوتُوكُول تخطِّي التَّرجمة باستعمال المُرحِّلات.[839]
2001:2::/48	أَبرِيل 2008	مُخصَّصٌ لِلعمليَّات المُعتمِدة على أَساس تقييم الأَداء.[840]
2001:3::/32	دِيسمبَر 2014	مُخصَّصٌ لِلإنشاء الآليِّ لِأَنفاق البثِّ المَجمُوعاتيِّ.[841]
2001:4:112::/48	دِيسمبَر 2014	مُخصَّصٌ لِمَشرُوع النِّظام المُستقِلِّ رقم 112.[842]
2001:10::/28	أَبرِيل 2007[843]	مُخصَّصٌ لِبادِئة مُعرِّفات التَّجزِئَة المُعمَّاة المُتراكِبة القابِلة لِلتَّوجيه، المَعرُوفة اختصاراً بالاسم الرَّمزيِّ أُوركيد.[844]
2001:20::/28	يُوليُو 2014	مُخصَّصٌ لِلإصدار الثَّانِي لِبادِئة مُعرِّفات التَّجزِئَة المُعمَّاة المُتراكِبة القابِلة لِلتَّوجيه، المَعرُوفة اختصاراً بالاسم الرَّمزيِّ أُوركيد 2.[845]
2001:0db8::/32	يُوليُو 2004	مُخصَّصٌ لِعمليَّة التَّوثيق.[846]
2002::/16	فِبرَاير 2001	مُخصَّصٌ لِدعم تقنيَّة 6 إلى 4 لِلانتقال مِن الإصدار السَّادِس نحو الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت.[847]

[835] أَصل الاسم Discard prefix، انظر ص. 4 في [RFC6666] في ثَبت المَراجِع.

[836] انظر [RFC2928] في ثَبت المَراجِع.

[837] أَصل الاسم Teredo، وهي تقنيَّةٌ طُوِّرت لِتحقيق التَّواصل بين مُضيفِي الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت عبر شبكةٍ تَدعَم الإصدار الرَّابِع فقط باستعمال شكلٍ خاصٍّ مِن أَشكال ترجمة عُنوان الشَّبكة هُو التَّرجمة المُضاعَفة، لِلمزيد حولها انظر [RFC4380] في ثَبت المَراجِع، ولِلفضاء المَحجُوز انظر ص. 4 مِن المَرجع السَّابِق.

[838] أَصل الاسم Port Control Protocol، اختصاراً PCP، انظره في [RFC7723] في ثَبت المَراجِع، ولِلفضاء المَحجُوز انظر ص. 5 في المَرجع السَّابِق.

[839] انظر مَعلُوماتٍ أَوفَى عن البرُوتُوكُول في قِسم مُشكِلات التَّنفيذ في الفصل التَّاسِع مِن هذا الكِتاب، وأَيضاً انظر [RFC8155] في ثَبت المَراجِع، ولِلفضاء المَحجُوز انظر ص. 9 مِن المَرجِع السَّابِق.

[840] مِن أَجل أَصل الاسم انظر الهامِش 824 في ما سَبق، وأَيضاً انظر [RFC5180]، ولِلفضاء المَحجُوز انظر ص. 11 في المَرجِع السَّابِق.

[841] أَصل الاسم Automatic multicast tunneling، انظر ص. 78 في [RFC7450] في ثَبت المَراجِع.

[842] أَصل اسم المَشرُوع AS112 project، انظر ص. 4 في [RFC7535] في ثَبت المَراجِع.

[843] حُرِّر هذا الفضاء في شهر مارس مِن العام 2014، ولم يَعُد مَحجُوزاً، انظر [WEB31] في ثَبت المَراجِع لِمَعلُوماتٍ مُحدَّثةٍ.

[844] أَصل الاسم Overlay Routable Cryptographic Hash Identifiers، اختصاراً ORCHID. انظر ص. 5 في [RFC4843] في ثَبت المَراجِع.

[845] انظر ص. 6 في [RFC7343] في ثَبت المَراجِع.

[846] انظر [RFC3849] في ثَبت المَراجِع.

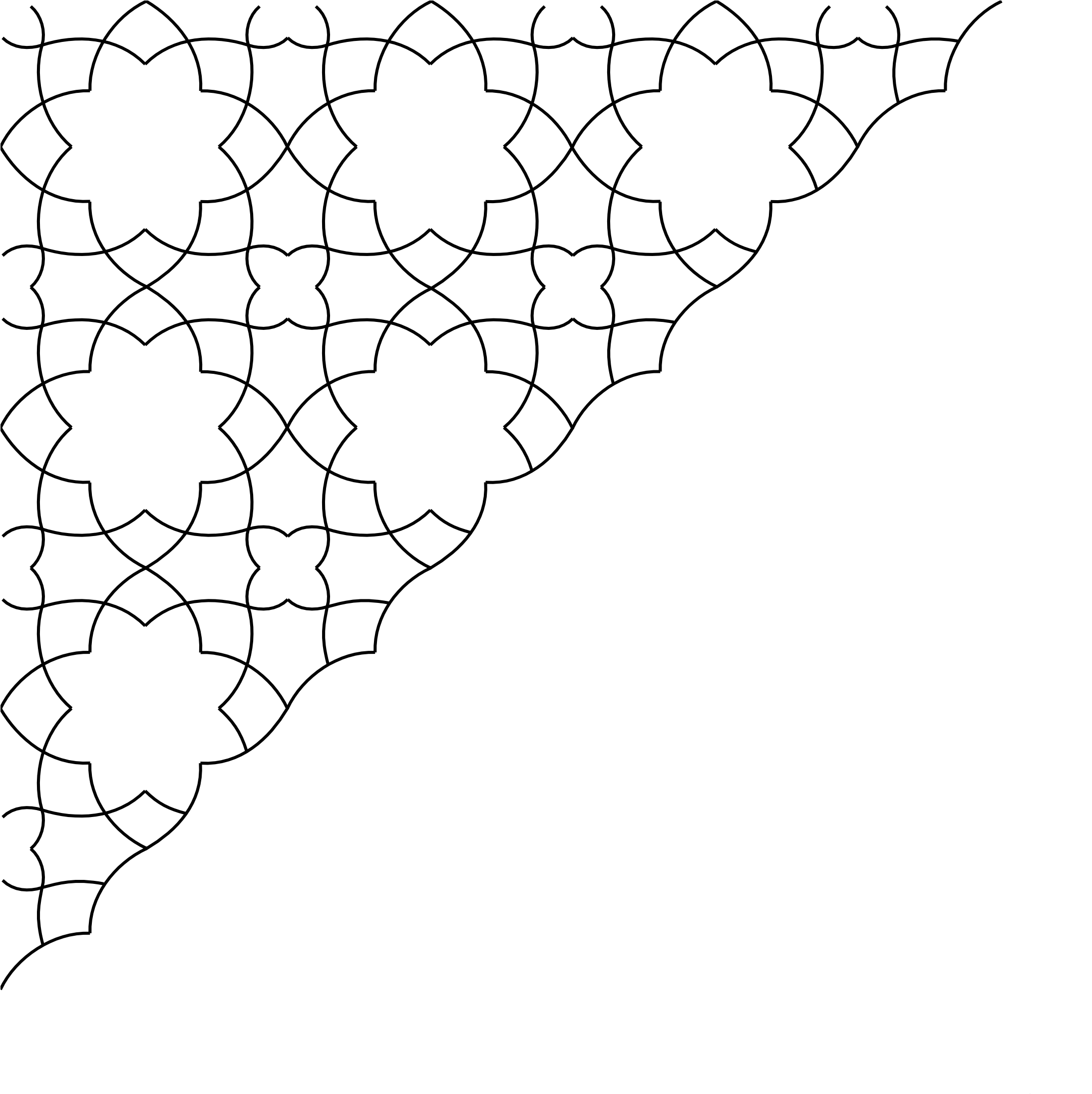
[847] أَصل الاسم 6 to 4، انظر ص. 5 في [RFC3056] في ثَبت المَراجِع.

fc00::/7	أُكتُوبر 2005	مُخصَّصٌ لِفضاء عناوين البثِّ فريد الوِجهة المَحلِّيّ.[848]
fe80::/10	أُكتُوبر 2005	مُخصَّصٌ لِفضاء عناوين البثِّ فريد الوِجهة في الوصلة المَحلِّيَّة.[849]

[848] انظر ص. 3 في [RFC4193] في ثَبت المَراجِع.

[849] انظر ص. 11 في [RFC4291] في ثَبت المَراجِع.

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



المُلحَق د: أَمثلةٌ عن تجزئَة فضاء العناوين ومُلحَقاتها



أوَّلاً: الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

التَّجزئَة الصِّنفيَّة

الصِّنف A

المِثال الأوَّل: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أكبرُ مِن 1 أو مُساوٍ له وأصغرُ تماماً مِن 8.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 10.0.0.0 إلى 5 أفضيةٍ جُزئيَّةٍ.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف A هُو 8/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 1$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 7$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حِساب الطُّول الأدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

3. الطُّول الأدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف $b_{HID_{min}} = 2$، ويُستعمل لِحساب الطُّول الأقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ:

$$b_{SID_{max}} = 24 - 2 = 22$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ يُحَقِّق المُتراجِحة:

$$3 \leq b_{SID} \leq 22$$

أُختِيرت القِيمة الدُّنيا وهي $b_{SID} = 3$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 24 - 3 = 21$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-1) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	21	3	7	1
	مُعرِّف المُضيف		مُعرِّف الفضاء	
		مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ		بتاتٌ مَحجُوزةٌ

الشَّكل (د-1): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الأوَّل في المُلحَق د

6. عَدَد مُعرِّفات الأفضِية الجُزئِيَّة هُو $2^3 = 8$، وهي مُبيَّنة بالجدول (د-1).

الجدول (د- 1): مُعرِّفَات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الأَوَّل في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

7. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 3 + 7 + 1 = 11$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئيَّة هُو 11/ أَو 255.224.0.0.

الجدول (د- 2): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الأَوَّل في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 000$)		الفضاء السَّابِع ($SID = 110$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.0.0.0	عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.192.0.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.0.1	عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.192.0.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.31.255.254	عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.223.255.254
عُنوان البثّ العامّ	10.31.255.255	عُنوان البثّ العامّ	10.223.255.255
الفضاء الثَّاني ($SID = 001$)		الفضاء الثَّامِن ($SID = 111$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.32.0.0	عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.224.0.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.32.0.1	عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.224.0.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.63.255.254	عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.255.255.254
عُنوان البثّ العامّ	10.63.255.255	عُنوان البثّ العامّ	10.255.255.255

المِثال الثَّاني: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُساوٍ لِلقِيمة 8

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 10.0.0.0، إِلى 256 فضاءً جُزئياً.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف A هُو 8/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 1$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 7$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = \lceil \log_2 256 \rceil = 8$$

3. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 24 - 8 = 16$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-2) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	16	8	7	1
	مُعرِّف المُضيف	**مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ**	**مُعرِّف الفضاء**	
				بتاتٌ مَحجُوزةٌ

الشَّكل (د-2): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الثَّاني في المُلحَق د

الجدول (د- 3): بعضٌ مِن مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الثَّاني في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	0000 0000	253	1111 1100
2	0000 0001	254	1111 1101
3	0000 0010	255	1111 1110
4	0000 0011	256	1111 1111

4. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 8 + 7 + 1 = 16$$

أي أنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 16/ أو 255.255.0.0

الجدول (د-4): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثَّاني في المُلحَق د

الفضاء الأوَّل (SID = 0000 000)		**الفضاء رقم 255 (SID = 1111 1110)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.0.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	10.254.0.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.0.0	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.254.0.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.0.255.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.254.255.254
عُنوان البثّ العامّ	10.0.255.255	**عُنوان البثّ العامّ**	10.254.255.255
الفضاء الثَّانِي (SID = 0000 0001)		**الفضاء رقم 256 (SID = 1111 1111)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.1.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	10.255.0.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.1.0.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.255.0.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.1.255.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.255.255.254
عُنوان البثّ العامّ	10.1.255.255	**عُنوان البثّ العامّ**	10.255.255.255

المِثال الثَّالث: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ أكبرُ مِن 9 أَو مُساوٍ لها وأَصغرُ تماماً مِن 16.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 10.0.0.0 إلى 1000 فضاءً جزئياً على الأقل.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف A هُو 8/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 1$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 7$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرّفِي الفضاء الجُزئِيّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 1000 \rceil = \lceil 9.96 \rceil = 10$$

3. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف $b_{HID_{min}} = 2$، ويُستعمل لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 24 - 2 = 22$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يُحَقِّق المُتراجِحة:

$$10 \leq b_{SID} \leq 22$$

أُختِيرت القِيمة الدُّنيا وهي $b_{SID} = 10$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 24 - 10 = 14$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-3) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	**14**	**10**	**7**	**1**
	مُعرِّف المُضيف	**مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ**	**مُعرِّف الفضاء**	**بتاتٌ مَحجُوزةٌ**

الشَّكل (د-3): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الثَّالِث في المُلحَق د

الجدول (د- 5): بعضٌ مِن مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثَّالِث في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	0000 0000 00	1021	1111 1111 00
2	0000 0000 01	1022	1111 1111 01
3	0000 0000 10	1023	1111 1111 10
4	0000 0000 11	1024	1111 1111 11

الجدول (د-6): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثَّالِث في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 0000\ 0000\ 00$)		**الفضاء رقم 1023 ($SID = 1111\ 1111\ 10$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	10.0.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	10.255.128.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.0.0	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.255.128.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.0.63.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.254.191.254
عُنوان البثِّ العامِّ	10.0.63.255	**عُنوان البثِّ العامِّ**	10.254.191.255
الفضاء الثَّانِي ($SID = 0000\ 0000\ 01$)		**الفضاء رقم 1024 ($SID = 1111\ 1111\ 11$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	10.0.64.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	10.255.192.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.64.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.255.192.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.0.127.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.255.255.254
عُنوان البثِّ العامِّ	10.0.127.255	**عُنوان البثِّ العامِّ**	10.255.255.255

6. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 10 + 7 + 1 = 18$$

أيّ أنَّ قِناع الأَفضية الجُزئيَّة هُو 18/ أو 255.255.192.0.

المِثال الرَّابِع: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُساوٍ لِلقِيمة 16.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 10.0.0.0، إلى عَدَدٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة يَحتوِي كُلٌّ مِنها 254 عُنواناً لِلمُضيفين.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف A هُو 8/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 1$، وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 7$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيِّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

2. طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = \lceil \log_2(254 + 2) \rceil = \lceil \log(256) \rceil = 8$$

3. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = 24 - 8 = 16$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-4) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	8	16	7	1
	مُعرِّف المُضيف	مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ	مُعرِّف الفضاء	بتاتٌ مَحجُوزةٌ

الشَّكل (د-4): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الرَّابِع في المُلحَق د

الجدول (د-7): بعضٌ مِن مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الرَّابِع في المُلحَق د

قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف
1111 1111 1111 1100	65533	0000 0000 0000 0000	1
1111 1111 1111 1101	65534	0000 0000 0000 0001	2
1111 1111 1111 1110	65535	0000 0000 0000 0010	3
1111 1111 1111 1111	65536	0000 0000 0000 0011	4

4. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 16 + 7 + 1 = 24$$

أيّ أنَّ قِناع الأَفضية الجُزئيَّة هُو 24/ أو 255.255.255.0

الجدول (د-8): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الرَّابع في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 000 \ldots 000$)		الفضاء رقم 262143 ($SID = 111 \ldots 110$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.0.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	10.255.254.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.0.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.255.254.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.0.0.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.255.254.254
عُنوان البثّ العامّ	10.0.0.255	**عُنوان البثّ العامّ**	10.255.254.255
الفضاء الثَّاني ($SID = 000 \ldots 001$)		**الفضاء رقم 262144 ($SID = 111 \ldots 111$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.0.1.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	10.255.255.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.1.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.255.255.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.0.1.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.255.255.254
عُنوان البثّ العامّ	10.0.1.255	**عُنوان البثّ العامّ**	10.255.255.255

المِثال الخامِس: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ أكبرُ مِن 17 أو مُساوٍ لها وأَصغرُ مِن 22 أو مُساوٍ لها.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 10.0.0.0 إلى عَدَدٍ مِن أَفضيةٍ العَناوين الجُزئيَّةٍ الَّتي يَحتوِي كُلٌّ مِنها 50 عُنواناً.

5. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف A هُو 8/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 1$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 7$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (1 + 7) = 24$$

6. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

7. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ $b_{SID_{min}} = 1$، ويُستعمَل لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف المُضيف.

$$b_{HID_{max}} = 24 - 1 = 23$$

8. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف المُضيف يُحَقِّق المُتراجِحة:

$$6 \leq b_{HID} \leq 23$$

اُختِيرت القِيمة الدُّنيا وهي $b_{HID} = 6$.

9. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = 24 - 6 = 18$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-5) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	6	18	7	1
	مُعرِّف المُضيف	مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ	مُعرِّف الفضاء	

بتاتٌ مَحجُوزةٌ

الشَّكل (د-5): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الخَامِس في المُلحَق د

10. عَدَد مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيَّة هُو $2^{18} = 262144$، وبعضٌ مِنها مُبيَّنٌ في الجدول (د-9).

الجدول (د- 9): بعضٌ مِن مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الخَامِس في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	0000 0000 0000 0000 00	262141	1111 1111 1111 1111 00
2	0000 0000 0000 0000 01	262142	1111 1111 1111 1111 01
3	0000 0000 0000 0000 10	262143	1111 1111 1111 1111 10
4	0000 0000 0000 0000 11	262144	1111 1111 1111 1111 11

11. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 18 + 7 + 1 = 26$$

أي أنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 26/ أو 255.255.255.192.

الجدول (د-10): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الخَامِس في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل $(SID = 000 \dots 000)$		الفضاء رقم 262143 $(SID = 111 \dots 110)$	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.0.0.0	عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.255.255.128
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.0.1	عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.255.255.129
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.0.0.62	عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.255.255.190
عُنوان البثِّ العامّ	10.0.0.63	عُنوان البثِّ العامّ	10.255.255.191
الفضاء الثَّانِي $(SID = 000 \dots 001)$		الفضاء رقم 262144 $(SID = 111 \dots 111)$	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.0.0.64	عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.255.255.192
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.0.0.65	عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.255.255.193
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.0.0.126	عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.255.255.254
عُنوان البثِّ العامّ	10.0.0.127	عُنوان البثِّ العامّ	10.255.255.255

الصِّنف B

المِثال السَّادِس: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ أَكبرُ مِن 1 أو أَصغرُ تماماً مِن 8.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 150.150.0.0، إلى 5 أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف B هُو 16/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 2$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 14$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

8. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

9. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف $b_{HID_{min}} = 2$، ويُستعمَل لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 2 = 14$$

10. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يُحَقِّق المُتراجِحة:

$$3 \leq b_{SID} \leq 14$$

أُختِيرت القِيمة الدُّنيا وهي $b_{SID} = 3$.

11. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 16 - 3 = 13$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-6) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	**13**	**3**	**14**	**2**
	مُعرِّف المُضيف		**مُعرِّف الفضاء**	
		مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ		**بتاتٌ مَحجُوزةٌ**

الشَّكل (د-6): بِنية عُنوان الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكول الإِنترنِت النَّاتِج في المِثال السَّادِس في المُلحَق د

12. عَدَد مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيَّة هُو $2^3 = 8$، وهي مُبيَّنة بالجدول (د-11).

الجدول (د- 11): مُعرِّفَات الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال السَّادِس في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

13. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 3 + 14 + 2 = 19$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 19/ أو 255.255.224.0.

الجدول (د- 12): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال السَّادِس في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 000$)		الفضاء السَّابِع ($SID = 110$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	150.150.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	150.150.192.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	150.150.0.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	150.150.192.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	150.150.31.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	150.150.223.254
عُنوان البثّ العامّ	150.150.31.255	**عُنوان البثّ العامّ**	150.150.223.255
الفضاء الثَّاني ($SID = 001$)		**الفضاء الثَّامِن ($SID = 111$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	150.150.32.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	150.150.224.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	150.150.32.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	150.150.224.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	150.150.63.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	150.150.255.254
عُنوان البثّ العامّ	150.150.63.255	**عُنوان البثّ العامّ**	150.150.255.255

المِثال السَّابِع: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُساوٍ لِلقِيمة 8

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 150.150.0.0 إلى 6 أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ، يَحتوِي كُلٌّ مِنها 250 عُنواناً.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف B هُو 16/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 2$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 14$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(250 + 2) \rceil = \lceil 7.97 \rceil = 8$$

3. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف $b_{HID_{min}} = 8$، ويُستعمل لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 8 = 8$$

4. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 6 \rceil = \lceil 2.58 \rceil = 3$$

5. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ يُحَقِّق المُتراجِحة:

$$3 \leq b_{SID} \leq 8$$

أُختيِرت قِيمة $b_{SID} = 8$.

6. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 16 - 8 = 8$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-7) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	8	8	14	2
	مُعرِّف المُضيف	**مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ**	**مُعرِّف الفضاء**	
				بتاتٌ مَحجُوزةٌ

الشَّكل (د-7): بِنية عُنوان الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال السَّابِع في المُلحَق د

الجدول (د- 13): بعض مُعرِّفَات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال السَّابِع في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	0000 0000	253	1111 1100
2	0000 0001	254	1111 1101
3	0000 0010	255	1111 1110
4	0000 0011	256	1111 1111

7. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 2 + 14 + 8 = 24$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 24/ أَو 255.255.255.0.

الجدول (د- 14): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال السَّابِع في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 0000\ 0000$)		**الفضاء رَقم 255 ($SID = 1111\ 1110$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	150.150.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	150.150.254.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	150.150.0.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	150.150.254.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	150.150.0.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	150.150.254.254
عُنوان البثّ العامّ	150.150.0.255	**عُنوان البثّ العامّ**	150.150.254.255
الفضاء الثَّانِي ($SID = 0000\ 0001$)		**الفضاء رقم 256 ($SID = 1111\ 1111$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	150.150.1.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	150.150.255.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	150.150.1.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	150.150.255.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	150.150.1.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	150.150.255.254
عُنوان البثّ العامّ	150.150.1.255	**عُنوان البثّ العامّ**	150.150.255.255

المِثال الثَّامِن: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ أَكبرُ مِن 9 أَو مُساوٍ لها وأَصغر مِن 14 أو مُساوٍ لها.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسِيّ 150.150.0.0 إلى عَدَدٍ من الأَفضيةِ الجُزئيَّةٍ يَحتوي كُلٌّ مِنها 50 عُنواناً.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسِيّ لِلصِّنف B هُو 16/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 2$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 14$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (2 + 14) = 16$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50 + 2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

3. لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 6 = 10$$

4. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ هُو $b_{SID_{min}} = 1$، فتَكون المُتراجِحة المُستعمَلة لِاختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ هي:

$$1 \leq b_{SID} \leq 10$$

أُختيرت قِيمة $b_{SID} = 10$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 16 - 10 = 6$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-8) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	6	10	14	2
	مُعرِّف المُضيف	مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ	مُعرِّف الفضاء	بتاتٌ مَحجُوزةٌ

الشَّكل (د-8): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الثامِن في المُلحَق د

الجدول (د- 15): بعضٌ مِن مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الثامِن في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	0000 0000 00	1021	1111 1111 00
2	0000 0000 01	1022	1111 1111 01
3	0000 0000 10	1023	1111 1111 10
4	0000 0000 11	1024	1111 1111 11

الجدول (د- 16): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الثامِن في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل (SID = 0000 0000 00)		الفضاء رَقم 1023 (SID = 1111 1111 10)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	150.150.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	150.150.255.128
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	150.150.0.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	150.150.255.129
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	150.150.0.62	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	150.150.255.190
عُنوان البثِّ العامِّ	150.150.0.63	**عُنوان البثِّ العامِّ**	150.150.255.191
الفضاء الثَّانِي (SID = 0000 0000 01)		**الفضاء رقم 1024 (SID = 1111 1111 11)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	150.150.0.64	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	150.150.255.192
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	150.150.0.65	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	150.150.255.193
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	150.150.0.126	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	150.150.255.254
عُنوان البثِّ العامِّ	150.150.0.127	**عُنوان البثِّ العامِّ**	150.150.255.255

6. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 2 + 14 + 10 = 26$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 26/ أَو 255.255.255.192.

الصِّنف C

المِثال التَّاسِع: حالة طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ أَكبر مِن 1 أَو مُساوٍ له وأَصغر تماماً مِن 7.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين القِياسيّ 200.100.0.0، إلى 5 أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ.

1. العَنونَةُ صِنفيَّة والقِناع القِياسيّ لِلصِّنف C هُوَ 24/ وعَدَد البتات المَحجُوزة $b_r = 3$ وطُول مُعرِّف الفضاء $b_{NID} = 21$. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيِّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - (3 + 21) = 8$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

3. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت $b_{HID_{min}} = 2$ ويُستعمَل لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 8 - 2 = 6$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يُحَقِّق المُتراجِحة:

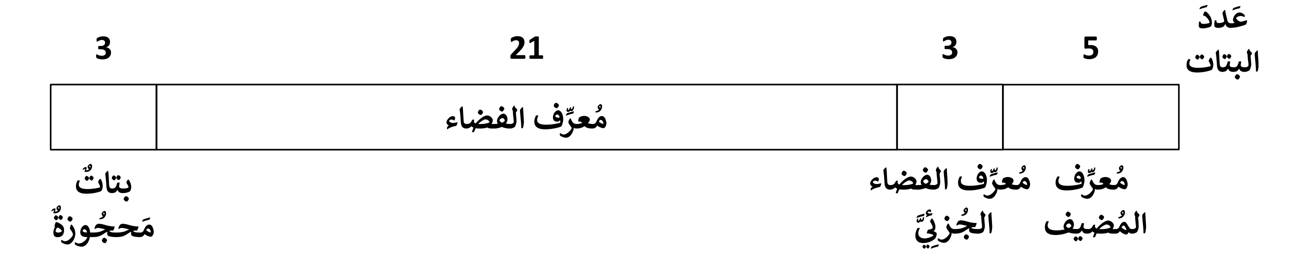
$$3 \leq b_{SID} \leq 6$$

أُختِيرت قِيمة $b_{SID} = 3$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 8 - 3 = 5$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-9) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.



الشَّكل (د-9): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال التَّاسِع في المُلحَق د

الجدول (د- 17): بعضٌ من مُعرِّفات الأفضية الجُزئيَّة في المِثال التاسِع في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	000	5	110
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

6. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 3 + 21 + 3 = 27$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 26/ أَو 255.255.255.224.

الجدول (د- 18): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال التَّاسِع في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 000$)		الفضاء السَّابِع ($SID = 110$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	200.100.10.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	200.100.10.192
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	200.100.10.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	200.100.10.193
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	200.100.10.31	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	200.100.10.222
عُنوان البثِّ العامّ	200.100.10.32	**عُنوان البثِّ العامّ**	200.100.10.223
الفضاء الثَّاني ($SID = 001$)		**الفضاء الثَّامِن ($SID = 111$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	200.100.10.33	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	200.100.10.224
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	200.100.10.34	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	200.100.10.225
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	200.100.10.62	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	200.100.10.254
عُنوان البثِّ العامّ	200.100.10.63	**عُنوان البثِّ العامّ**	200.100.10.255

التَّجزئَة غير الصِّنفيَّة

المِثال العاشِر: التَّجزِئة غير الصِّنفيَّة مِن أَجل عَدَدٍ مُحدَّدٍ مِن لِلأَفضية الجُزئِيَّة.

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين 10.1.0.0/16 إِلى 5 أَفضيةٍ جُزئَيَّةٍ.

1. العَنونَةُ غير صِنفيَّةٍ، طُول البادِئة هُو 16 بتاً والطُّول الإِجماليُّ لِلعُنوان هُو 32 بتاً. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيِّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 16 = 16$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 5 \rceil = \lceil 2.32 \rceil = 3$$

3. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت $b_{HID_{min}} = 2$ ويُستعمَل لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 16 - 2 = 14$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ يُحَقِّق المُتراجِحة:

$$3 \leq \ b_{SID} \leq 14$$

أُختِيرت قِيمة $b_{SID} = 3$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 16 - 3 = 13$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-10) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيّ النَّاتِج.

عَدَد البتات	**13**	**3**	**16**
	مُعرِّف المُضيف		**بادِئة الفضاء**
		مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ	

الشَّكل (د-10): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال العاشِر في المُلحَق د

الجدول (د- 19): بعضٌ مِن مُعرِّفَات الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال العاشِر في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	000	5	110
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

6. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 16 + 3 = 19$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 19/ أَو 255.255.224.0.

الجدول (د- 20): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال العاشِر في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 000$)		**الفضاء السَّابِع ($SID = 110$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.1.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	10.1.192.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.1.0.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.1.192.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.1.31.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.1.223.254
عُنوان البثّ العامّ	10.1.31.255	**عُنوان البثّ العامّ**	10.1.223.255
الفضاء الثَّاني ($SID = 001$)		**الفضاء الثَّامِن ($SID = 111$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيّ	10.1.32.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيّ**	10.1.224.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.1.32.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.1.224.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.1.63.254	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.1.255.254
عُنوان البثّ العامّ	10.1.63.255	**عُنوان البثّ العامّ**	10.1.255.255

المِثال الحادِي عَشر: حَجمٌ مُحدَّد لِلأَفضية الجُزئِيَّة.

المَطلُوب تجزئة فضاء العناوين 10.1.128.0/17 إلى عَدَدٍ مِن أَفضية العناوين الجُزئيَّة يَحتوِي كُلٌّ مِنها 50 عُنواناً.

1. العَنونَةُ غير صِنفيَّةٍ وطُول البادِئة هُو 17 بتاً والطُّول الإجماليُّ لِلعُنوان هُو 32 بتاً. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 17 = 15$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(50+2) \rceil = \lceil 5.7 \rceil = 6$$

3. لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 15 - 6 = 9$$

4. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ هُو $b_{SID_{min}} = 1$، فيَكُون اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ يُحَقِّق المُتراجِحة:

$$1 \leq b_{SID} \leq 9$$

أُختِيرت قِيمة $b_{SID} = 9$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 15 - 9 = 6$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-11) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.

عَدد البتات	6	9	16
	مُعرِّف المُضيف	**مُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ**	**بادِئة الفضاء**

الشَّكل (د-11): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الحادي عَشر في المُلحَق د

الجدول (د- 21): بعضٌ مِن مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الحادِي عَشر في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	00 0000 000	509	11 1111 110
2	00 0000 001	510	11 1111 101
3	00 0000 010	511	11 1111 110
4	00 0000 011	512	11 1111 111

6. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 17 + 9 = 26$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 26/ أَو 255.255.255.192.

الجدول (د- 22): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئيّة في المِثال الحادِي عَشر في المُلحَق د

الفضاء الأوَّل ($SID = 000 \dots 000$)		الفضاء رَقم 511 ($SID = 111 \dots 110$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	10.1.128.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	10.1.255.128
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.1.128.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.1.255.129
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.1.128.62	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.1.255.190
عُنوان البثِّ العامِّ	10.1.128.63	**عُنوان البثِّ العامِّ**	10.1.255.191
الفضاء الثَّانِي ($SID = 000 \dots 001$)		**الفضاء الثَّامِن رقم 512 ($SID = 111 \dots 111$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	10.1.128.64	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	10.1.255.192
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.1.128.65	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.1.255.193
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.1.128.126	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.1.255.254
عُنوان البثِّ العامِّ	10.1.128.127	**عُنوان البثِّ العامِّ**	10.1.255.255

المِثال الثَّانِي عَشر: عَدَدٌ وحَجمٌ مُحدَّدان لِلأَفضية الجُزئِيَّة.

المَطلُوب تجزِئة فضاء العناوين 10.1.0.0/25 إلى 4 أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ يَحتوِي كُلٌّ مِنها على 20 عُنواناً.

1. العَنونَةُ غير صِنفيَّةٍ والعُنوان مِن الإصدار الرَّابع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، طُول البادِئة هُو 25 بتاً والطُّول الإجماليُّ لِلعُنوان هُو 32 بتاً. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّفي الفضاء الجُزئِيِّ والمُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 25 = 7$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(20 + 2) \rceil = \lceil 4.45 \rceil = 5$$

3. لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 7 - 5 = 2$$

4. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 4 \rceil = 2$$

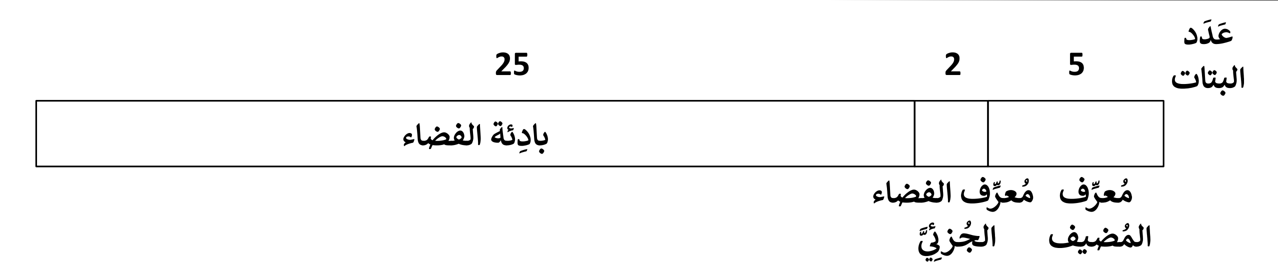
5. يكون طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = b_{SID_{min}} = b_{SID_{max}} = 2$$

6. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 7 - 2 = 5$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-12) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.



الشَّكل (د-12): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الثَّانِي عَشر في المُلحَق د

الجدول (د- 23): مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثَّانِي عَشر في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	00	3	10
2	01	4	11

7. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 25 + 2 = 27$$

أي أنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 27/ أو 255.255.255.224.

الجدول (د- 24): حِسابات الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثَّانِي عَشر في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 00$)		الفضاء الثَّانِي ($SID = 10$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	10.1.0.0	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	10.1.0.64
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.1.0.1	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.1.0.65
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.1.0.30	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.1.0.94
عُنوان البثِّ العامِّ	10.1.0.31	**عُنوان البثِّ العامِّ**	10.1.0.95
الفضاء الثَّالِث ($SID = 01$)		**الفضاء الرَّابِع ($SID = 11$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	10.1.0.32	**عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ**	10.1.0.96
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	10.1.0.33	**عُنوان المُضيفِين الأَصغر**	10.1.0.97
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	10.1.0.62	**عُنوان المُضيفِين الأَكبر**	10.1.0.126
عُنوان البثِّ العامِّ	10.1.0.63	**عُنوان البثِّ العامِّ**	10.1.0.127

المِثال الثَّالِث عَشر: طُولٌ مُحدَّدٌ لِقناع الأَفضيَّة الجُزئِيَّة.

المَطلُوب تجزِئة فضاء العناوين 128.0.0.0/4، وَفقاً لِلقِناع 254.0.0.0.

1. العنونة غير صنفيَّة وطُول البادِئة هُو 4 بتاتٍ والطُّول الإجماليُّ لِلعُنوان هُو 32 بتاً. يَحتوِي قِناع الفضاء الجُزئِي تتابُعاً غير مُنقطِعٍ مُكوَّناً مِن 7 وِحدانٍ مُتتالِيةٍ، ويُكتَب تدوين البادِئة كما يَأتِي: 7/. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ ومُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 4 = 28$$

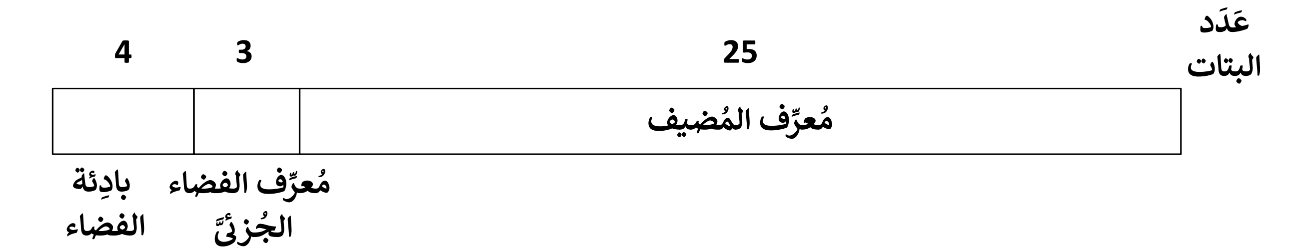
2. يَكُون طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = 7 - 4 = 3$$

3. حِساب طُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID} = 28 - 3 = 25$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-13) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.



الشَّكل (د-13): بِنية عُنوان الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الثَّالِث عَشر في المُلحَق د

الجدول (د- 25): مُعرِّفات الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثالِث عَشر في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

الجدول (د- 26): حِسابات بعضٍ مِن الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثالِث عَشر في المُلحَق د

الفضاء الأَوَّل ($SID = 000$)		الفضاء السَّابِع ($SID = 110$)	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	128.0.0.0	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	140.0.0.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	128.0.0.1	عُنوان المُضيفِين الأَصغر	140.0.0.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	129.255.255.254	عُنوان المُضيفِين الأَكبر	141.255.255.254
عُنوان البثِّ العامِّ	129.255.255.255	عُنوان البثِّ العامِّ	141.255.255.255
الفضاء الثَّانِي ($SID = 001$)		**الفضاء الثَّامِن ($SID = 111$)**	
عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	130.0.0.0	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	142.0.0.0
عُنوان المُضيفِين الأَصغر	130.0.0.1	عُنوان المُضيفِين الأَصغر	142.0.0.1
عُنوان المُضيفِين الأَكبر	131.255.255.254	عُنوان المُضيفِين الأَكبر	143.255.255.254
عُنوان البثِّ العامِّ	131.255.255.255	عُنوان البثِّ العامِّ	143.255.255.255

المِثال الرَّابِع عَشر: عَدَدٌ مُحدَّدٌ لِلأَفضية الجُزئِيَّة.

المَطلُوب تجزِئة فضاء العناوين 10.1.0.0/24، إلى 256 فضاءٍ جُزئِيٍّ، يَحتوِي كُلٌّ مِنها على 500 عنوانٍ.

1. العنونة غير صنفيَّةٍ وطُول البادِئة هُو 24 بتاً والطُّول الإجماليُّ لِلعنوان هُو 32 بتاً. يَكُون مَجمُوع طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ وطُول مُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SHID} = 32 - 24 = 8$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 256 \rceil = 8$$

3. حِساب الطُّول الأدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت:

$$b_{HID_{min}} = \lceil \log_2(500+2) \rceil = \lceil 8.97 \rceil = 9$$

4. لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيّ:

$$b_{SID_{max}} = 8 - 9 = -1$$

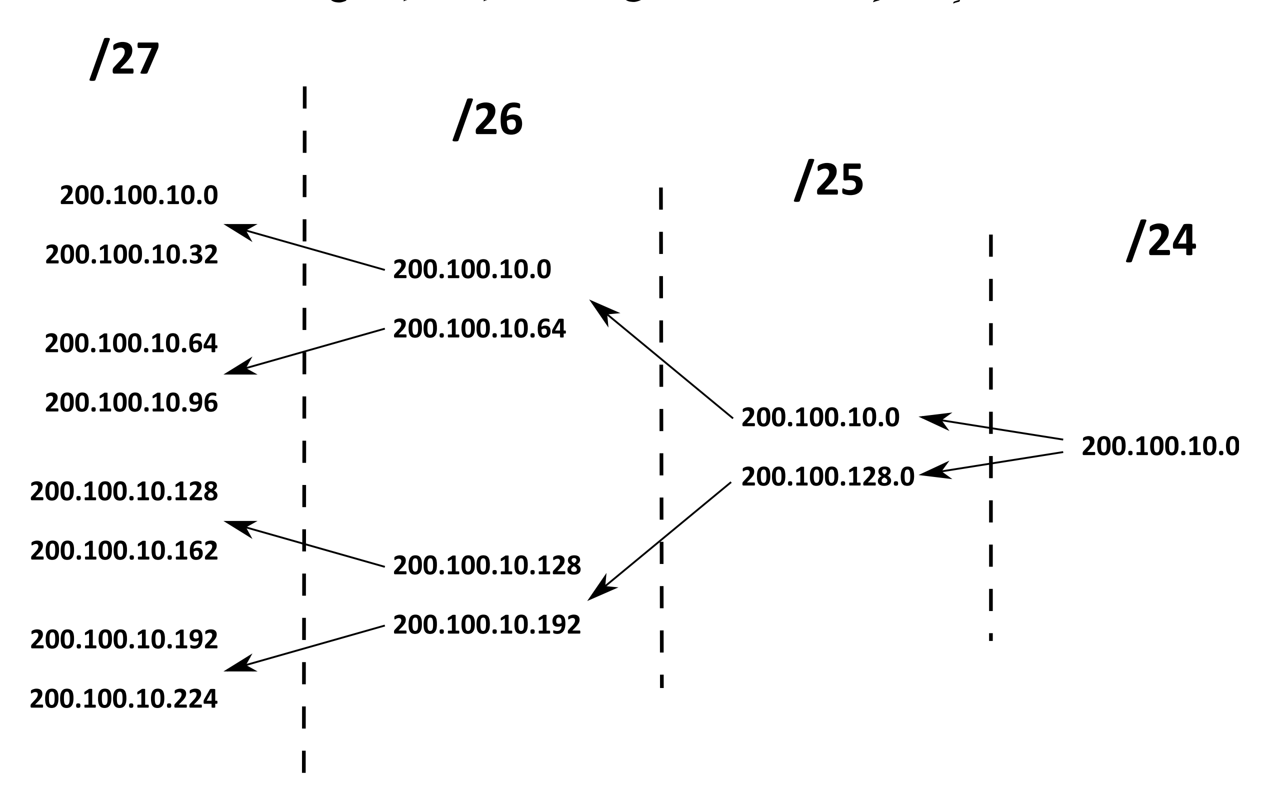
التَّجزِئة غير مُمكِنة.

استعمال أَقنعة الأَفضية الجُزئِيَّة مُختلِفة الأَطوال

المِثال الخامِس عَشَر: فضاءٌ جُزئِيٌّ مِن الصِّنف C

المَطلُوب استعمال أَقنعة الأَفضية الجُزئِيَّة مُختلِفة الأَطوال ضِمن الفضاء القِياسيّ 200.100.10.0/24.

1. يُجزَّأ الفضاء 200.100.10.0/24 أَوّلاً إلى فضاءَين جُزئِيَّين مُناصفةً هُما 200.100.10.0/25 و200.100.10.128/25.
2. يُجزَّأ كُلٌّ من الفضاءَين الجُزئِيَّين أيضاً إلى فضاءَين جزئِيّين مناصفةً، فيَنتُج أَربعة أَفضيةٍ جُزئِيَّةٍ هي: 200.100.10.0/26 و200.100.10.64.0/26 و200.100.10.128/26 و200.100.10.192/24.
3. تُجزَّأ الأَفضية السَّابِقة كُلُّها إلى جُزأَين مُناصفةً، فيَنتُج ثمانية أَفضيةٍ مُحدَّدةٍ بالقِناع 27/ كما يُبيِّن الشَّكل (د-14).



الشَّكل (د-14): استعمال أَقنعة الفضاء مُختلِفة الطُّول مع فضاءٍ قِياسيّ مِن الصِّنف C

يُظهِر الجدول (د-27) تفاصيلَ عن الأَفضية السَّابِقة تَشمُل عُنوان الفضاء والعُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفين والعُنوان الأَخير وعُنوان البثِّ العامِّ.

الجدول (د-27): تفاصيل أَفضية العناوين الجُزئية في المِثال الخامِس عَشر

القِناع	عُنوان الفضاء	العُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	العُنوان الأَخير الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	عُنوان البثِّ العامِّ
/24	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.254	200.100.10.255
/25	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.126	200.100.10.127
	200.100.10.128	200.100.10.129	200.100.10.254	200.100.10.255
/26	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.62	200.100.10.63
	200.100.10.64	200.100.10.65	200.100.10.126	200.100.10.127
	200.100.10.128	200.100.10.129	200.100.10.190	200.100.10.191
	200.100.10.192	200.100.10.193	200.100.10.254	200.100.10.255
/27	200.100.10.0	200.100.10.1	200.100.10.30	200.100.10.31
	200.100.10.32	200.100.10.33	200.100.10.62	200.100.10.63
	200.100.10.64	200.100.10.65	200.100.10.94	200.100.10.95
	200.100.10.96	200.100.10.97	200.100.10.126	200.100.10.127
	200.100.10.128	200.100.10.129	200.100.10.158	200.100.10.159
	200.100.10.160	200.100.10.161	200.100.10.190	200.100.10.191
	200.100.10.192	200.100.10.193	200.100.10.222	200.100.10.223
	200.100.10.224	200.100.10.225	200.100.10.255	200.100.10.255

أَمَّا الجدول (د-28)، فيُبيِّن عَدَد الأَفضية النَّاتجة في كُلِّ مُستوَىً مِن مُستويات التَّجزِئة وعَدَد العناوين في كُلٍّ مِنها والهدر الحاصِل نتيجةً لِلتَّجزِئة المُتكرِّرة.

الجدول (د-28): تفاصيل عمليَّات التَّجزِئة المُتعدِّدة في المِثال الخامِس عَشر

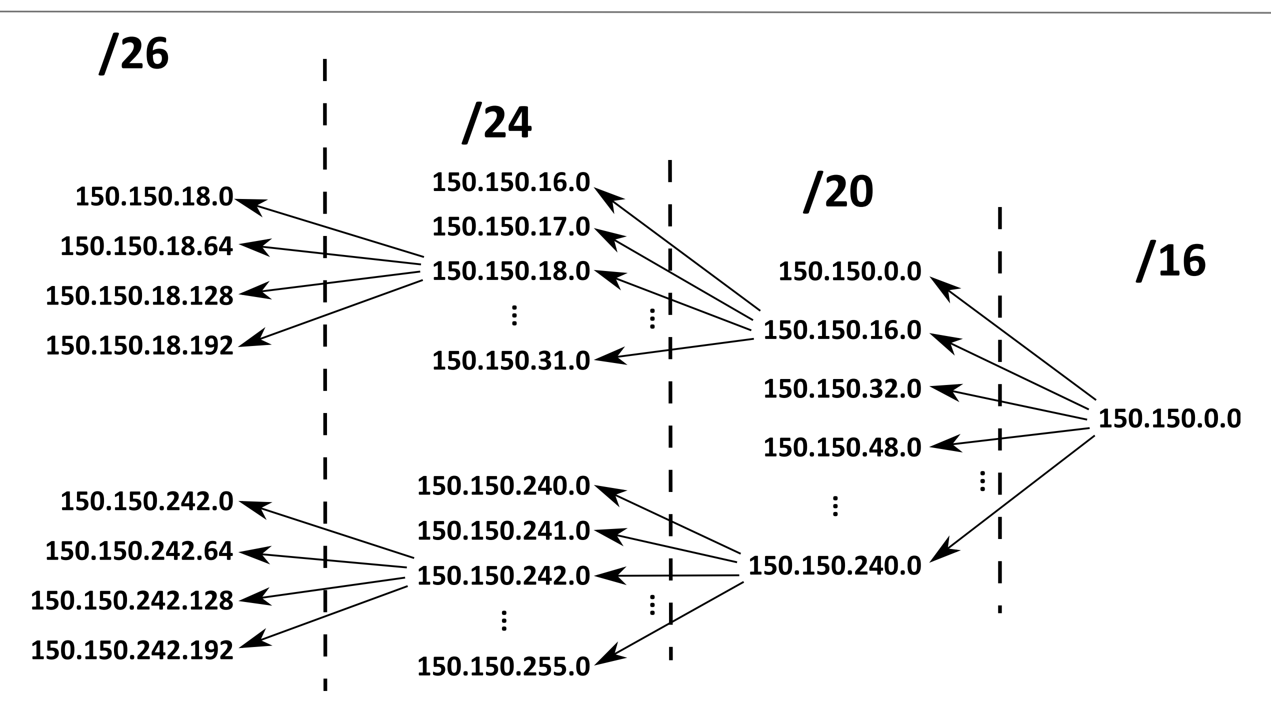
قِناع المُستوَى	/24	/25	/26	/27
عَدَد الأَفضية الجُزِئيَّة	1	2	4	8
عَدَد العناوين الصَّالِحة لِعنونة المُضيفِين في كُلِّ فضاء	254	126	62	30
عَدَد العناوين الإِجماليُّ في الأَفضية الجُزِئيَّة كُلِّها	$(2^8-2)*2^0$	$(2^7-2)*2^1$	$(2^6-2)*2^2$	$(2^5-2)*2^3$

4. يُمكِن اختيار الأَفضية الجُزئيَّة الَّتي تَقَع في المُستوَى نفسِه، أَي الَّتي لها القِناع الجُزئِيُّ نفسُه، واستعمالها بعضُها مع بعضٍ في عنونة شَبكاتٍ مُختلِفة مِن غير إشكالات تَتَعلَّق بالعنونة. ويُمكِن استعمال أَفضيةٍ مُختلِفة الأَطوال معاً، بشرط أَلَّا يَكُون أَيُّ فضاءٍ مِنها يَنتُج عن تجزئة فضاءٍ آخرَ. ومِثال الاختيار السَّليم في هذه الحالة سيَكُون 200.100.10.192/27 و200.100.10.128/26 و200.100.10.0/25 معاً.

المِثال السَّادِس عَشر: فضاءٌ جُزئِيٌّ مِن الصِّنف B

المَطلُوب استعمال أَقنعة الأَفضية الجُزئيَّة مُختلِفة الأَطوال ضِمن الفضاء القِياسيِّ 150.150.0.0/24.

1. يُجزَّأ الفضاء 150.150.0.0/24 أَوَّلاً إلى ستة عَشر فضاءً جُزئِيّاً طُول البادِئة في كُلٍّ مِنها 20/ (الشَّكل (د-15)).
2. يُجزَّأ كُلٌّ مِن الأَفضية السِّتة عشرة إلى سِتة عَشر فضاءً جُزئِيّاً طُول البادِئة في كُلٍّ مِنها 24/.
3. يُجزَّأ كُلٌّ مِن الأَفضية النَّاتجة إلى أَربعة أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ مُحدَّدةٍ بالقِناع 26/.



الشَّكل (د-15): استعمال أَقنعة الفضاء مُختلِفة الطُّول مع فضاءٍ قِياسيٍّ مِن الصِّنف B

يُظهِر الجدول (د-29) عَدَد الأَفضية النَّاتجة في كُلِّ مُستوَىً مِن مُستويات التَّجزئة وعَدَد العناوين في كُلٍّ مِنها والهدر الحاصِل نتيجةً لِلتَّجزِئة المُتكرِّرة. أَمَّا الجدول (د-30)، فيُبيِّن تفاصيلَ عن الأَفضية السَّابِقة تَشمُل عُنوان الفضاء والعُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفين والعُنوان الأَخير وعُنوان البثِّ العامِّ.

الجدول (د-29): تفاصيل عمليَّات التَّجزِئة المُتعدِّدة في المِثال السَّادِس عَشر

قِناع المُستوَى	/16	/20	/24	/26
عَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة	2^{0}	2^{4}	2^{8}	2^{10}
عَدَد العناوين الصَّالِحة لِعنونة المُضيفِين في كُلِّ فضاء	2^{16}-2	2^{12}-2	2^{8}-2	2^{6}-2
عَدَد العناوين الإجماليُّ في الأَفضية الجُزئِيَّة كُلِّها	$(2^{16}-2)*2^{0}$	$(2^{16}-2)*2^{4}$	$(2^{8}-2)*2^{8}$	$(2^{6}-2)*2^{10}$

4. يُمكِن اختيار الأَفضية الجُزئِيَّة الَّتي تَقَع في المُستوَى نفسِه، أَي الَّتي لها القِناع الجُزئِيُّ نفسُه، واستعمالها بعضُها مع بعضٍ في عنونة شَبكاتٍ مُختلِفة مِن غير إشكالاتٍ تَتَعلَّق بالعنونة. ويُمكِن استعمال أَفضيةٍ مُختلِفة الأَطوال معاً، بشرط أَلَّا يَكُون أَيُّ فضاءٍ مِنها يَنتُج عن تجزئة فضاءٍ آخرَ فيها، ومِثال الاختيار السَّليم في هذه الحالة سيَكُون 150.150.242.192/26 و150.150.242.128/26 و150.150.240.0/24 و150.150.31.0/24 معاً.

الجدول (د-30): تفاصيل أَفضية العناوين الجُزئية في المِثال السَّادِس عَشر

القِناع	عُنوان الفضاء	العُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	العُنوان الأَخير الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	عُنوان البثِّ العامِّ
/16	150.150.0.0	150.150.0.1	150.150.255.254	150.150.255.255
/20	150.150.0.0	150.150.0.1	150.150.15.254	150.150.15.255
	150.150.16.0	150.150.16.1	150.150.31.254	150.150.31.255
	150.150.32.0	150.150.32.1	150.150.47.254	150.150.47.255
	150.150.48.0	150.150.48.1	150.150.63.254	150.150.63.255
	150.150.240.0	150.150.240.1	150.150.255.254	150.150.255.255
/24	150.150.16.0	150.150.16.1	150.150.16.254	150.150.16.255
	150.150.17.0	150.150.17.1	150.150.17.254	150.150.17.255
	150.150.18.0	150.150.18.1	150.150.18.254	150.150.18.255
	150.150.31.0	150.150.31.1	150.150.31.254	150.150.31.255
	150.150.240.0	150.150.240.1	150.150.240.254	150.150.240.255
	150.150.241.0	150.150.241.1	150.150.241.254	150.150.241.255
	150.150.242.0	150.150.242.1	150.150.242.254	150.150.242.255
	150.150.255.0	150.150.255.1	150.150.255.254	150.150.255.255
/26	150.150.18.0	150.150.18.1	150.150.18.62	150.150.18.63
	150.150.18.64	150.150.18.65	150.150.18.126	150.150.18.127
	150.150.18.128	150.150.18.129	150.150.18.190	150.150.18.191
	150.150.18.192	150.150.18.193	150.150.242.254	150.150.242.255
	150.150.242.0	150.150.242.1	150.150.242.62	150.150.242.63
	150.150.242.64	150.150.242.65	150.150.242.126	150.150.242.127
	150.150.242.128	150.150.242.129	150.150.242.190	150.150.242.191
	150.150.242.192	150.150.242.193	150.150.242.254	150.150.242.255

المِثال السَّابِع عَشر: فضاءٌ جُزئِيٌّ مِن الصِّنف A

المَطلُوب استعمال أَقنعة الأَفضية الجُزئيَّة مُختلِفة الأَطوال ضِمن الفضاء القِياسيِّ 10.0.0.0/8.

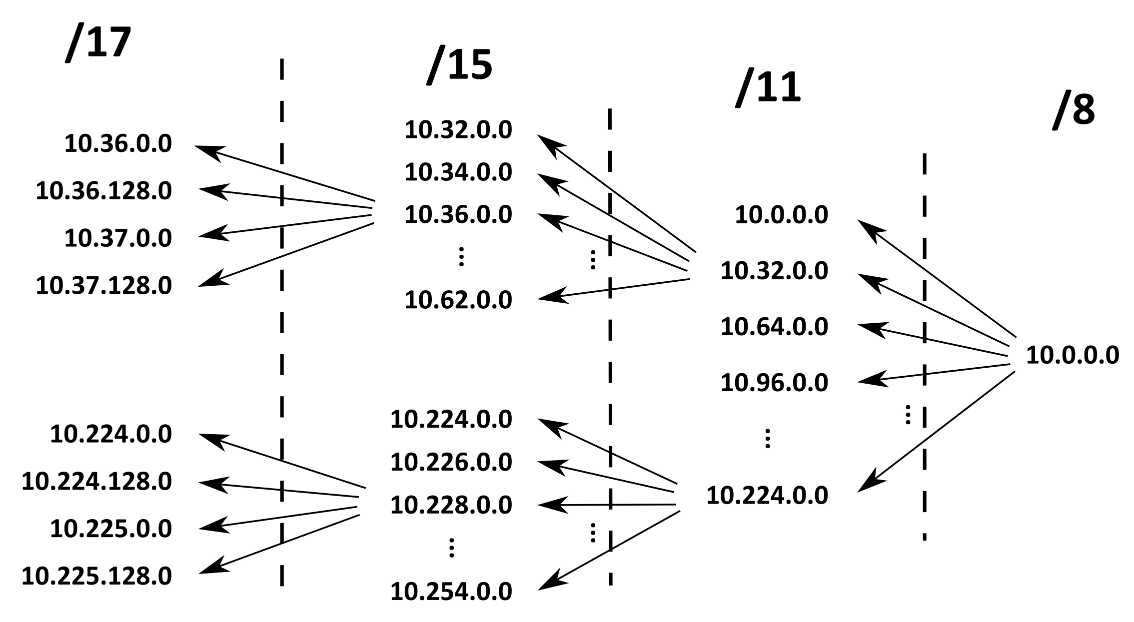
1. يُجزَّأ الفضاء 10.0.0.0/8 أَوَّلاً إِلى ثمانية أَفضيةٍ جُزئِيَّة طُول البادِئة في كُلٍّ مِنها 11/ (الشَّكل (د-16)).
2. تُجزَّأ كُلٌّ مِن الأَفضية السِّتة عشرة إِلى سِتة عَشر فضاءً جُزئِيّاً طُول البادِئة في كُلٍّ مِنها 15/.
3. تُجزَّأ كُلٌّ مِن الأَفضية النَّاتِجة إِلى أَربعة أَفضيةٍ جُزئيةٍ مُحدَّدةٍ بالقِناع 17/.[850]

يُظهِر الجدول (د-31) تفاصيلَ عن الأَفضية السَّابِقة تَشمُل السَّابِقة تَشمُل عُنوان الفضاء والعُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفين والعُنوان الأَخير وعُنوان البثِّ العامِّ. أَمَّا الجدول (د-32)، فيُبيِّن عَدَد الأَفضية النَّاتجة في كُلِّ مُستوَىً مِن مُستويات التَّجزِئة وعَدَد العناوين في كُلٍّ مِنها والهدر الحاصِل نتيجةً لِلتَّجزِئة المُتكرِّرة.

4. يُمكِن اختيار الأَفضية الجُزئيَّة الَّتي تَقَع في المُستوَى نفسِه، أَي الَّتي لها القِناع الجُزئِيُّ نفسُه، واستعمالها بعضُها مع بعضٍ في عنونة شَبكاتٍ مُختلِفة مِن غير إِشكالاتٍ تَتعلَّق بالعنونة. ويُمكِن استعمال أَفضيةٍ مُختلِفة الأَطوال

850 يُستحسَن الاستمرار بالتَّجزئة وتوليد أَفضيةٍ جُزئيَّةٍ أَصغرَ تَصلُح لِلتخصيص، ولكن هذا خارِج نِطاق بحث هذا المُلحَق الَّذي يُركِّز على آليَّة التَّجزِئة لا على استعمال الأَفضية الجُزئية النَّاتِجة في عنونة الأَفضية.

معاً، بشرط أَلَّا يَكُون أَيُّ فضاءٍ مِنها يَنتُج عن تجزئة فضاءٍ آخرَ فيها، ومِثال الاختيار السَّليم في هذه الحالة سيَكُون 10.36.0.0/17 و10.36.128.0/17 و10.32.0.0/15 و10.64.0.0/11 معاً.



الشَّكل (د-16): استعمال أَقنعة الفضاء مُختلِفة الطُّول مع فضاءٍ قِياسيٍّ مِن الصِّنف A

الجدول (د-31): تفاصيل أَفضية العناوين الجُزئية في المِثال السَّابِع عشَر

القِناع	عُنوان الفضاء	العُنوان الأَوَّل الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	العُنوان الأَخير الصَّالِح لِعنونة المُضيفِين	عُنوان البثِّ العامِّ
/8	10.0.0.0	10.0.0.1	10.255.255.254	10.255.255.255
/11	10.0.0.0	.10.0.0.1	10.31.255.254	10.31.255.255
	10.32.0.0	10.32.0.1	10.63.255.254	10.63.255.255
	10.64.0.0	10.64.0.1	10.95.255.254	10.95.255.255
	10.96.0.0	10.96.0.1	10.127.255.254	10.127.255.255
	10.224.0.0	10.224.0.1	10.255.255.254	10.255.255.255
/15	10.32.0.0	10.32.0.1	10.33.255.254	10.33.255.255
	10.34.0.0	10.34.0.1	10.35.255.254	10.35.255.255
	10.36.0.0	10.36.0.1	10.37.255.254	10.37.255.255
	10.62.0.0	10.62.0.1	10.63.255.254	10.63.255.255
	10.224.0.0	10.224.0.1	10.225.255.254	10.225.255.255
	10.226.0.0	10.226.0.1	10.227.255.254	10.227.255.255
	10.228.0.0	10.228.0.1	10.229.255.254	10.229.255.255
	10.254.0.0	10.254.0.1	10.255.255.254	10.255.255.255
/17	10.36.0.0	10.36.0.1	10.36.127.254	10.36.127.255
	10.36.128.0	10.36.128.1	10.36.255.254	10.36.255.255
	10.37.0.0	10.37.0.1	10.37.127.254	10.37.127.255
	10.37.128.0	10.37.128.1	10.37.255.254	10.37.255.255
	10.224.0.0	10.224.0.1	10.224.127.254	10.224.127.255
	10.224.128.0	10.224.128.1	10.224.255.254	10.224.255.255
	10.225.0.0	10.225.0.1	10.225.127.254	10.225.127.255
	10.225.128.0	10.225.128.1	10.225.255.254	10.225.255.255

الجدول (د- 32): تفاصيل عمليّات التّجزِئة المُتعدِّدة في المِثال السَّابِع عَشر

قِناع المُستوَى	/8	/11	/15	/17
عَدَد الأَفضية الجُزئِيَّة	2^0	2^3	2^7	2^9
عَدَد العناوين الصَّالِحة لِعنونة المُضيفِين في كُلِّ فضاء	2^{24}-2	2^{21}-2	2^{17}-2	2^{15}-2
عَدَد العناوين الإِجماليُّ في الأَفضية الجُزئِيَّة كُلِّها	$(2^{24}-2)*2^0$	$(2^{21}-2)*2^3$	$(2^{17}-2)*2^7$	$(2^{15}-2)*2^9$

ثانياً: الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت

المِثال الثَّامِن عَشر: المُعرِّف يَنتهِي عند حُدُود الرُّباعيَّة

المَطلُوب تجزئة فضاء العناوين 2000:1234:abcd::/48 إلى 65536 فضاءٍ جُزئِيٍّ.

1. طُول البادِئة هُو 48 بتاً، والطُّول الإِجماليُّ لِلعُنوان هُو 128 بتاً. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ ومُعرِّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SintID} = 128 - 48 = 80$$

2. حِساب الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID_{min}} = \lceil \log_2 65536 \rceil = 16$$

3. الطُّول الأَدنَى المَقبُول لِمُعرِّف المُضيف مُقدَّراً بالبت $b_{HID_{min}} = 0$، ويُستعمَل لِحساب الطُّول الأَقصَى المُتاح لِمُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ:

$$b_{SID_{max}} = 80 - 0 = 80$$

4. اختيار قِيمةٍ مُناسِبةٍ لِطُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ تُحَقِّق المُتراجِحة:

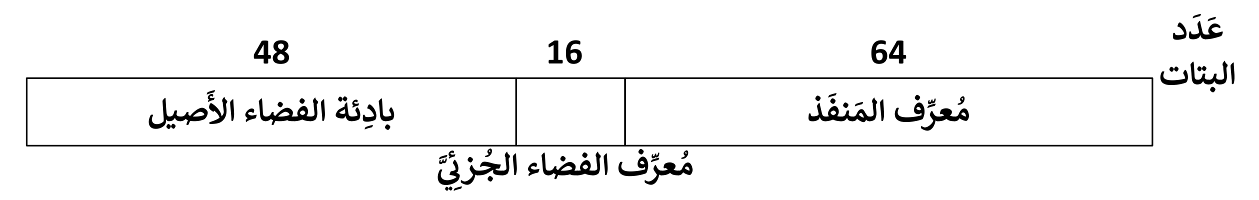
$$16 \leq b_{SID} \leq 80$$

أُختيرت قِيمة $b_{SID} = 16$.

5. حِساب طُول مُعرِّف المَنفَذ، الَّذي يُكافِئ مُعرِّف المُضيف في الإِصدار الرَّابِع، مُقدَّراً بالبت:

$$b_{int} = 80 - 16 = 64$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-17) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.



الشَّكل (د-17): بِنية عُنوان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال الثامن عَشر في المُلحَق د.

الجدول (د- 33): بعضٌ مِن مُعرِّفات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال الثَّامِن عَشر في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف وفقاً لِنِظام العَدِّ		رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف وفقاً لِنِظام العَدِّ	
	الثُّنائِيُّ	سِتة العَشرِيِّ		الثُّنائِيُّ	سِتة العَشرِيِّ
1	0000 0000 0000 0000	0000	65533	1111 1111 1111 1100	fffc
2	0000 0000 0000 0001	0001	65534	1111 1111 1111 1101	fffd
3	0000 0000 0000 0010	0002	65535	1111 1111 1111 1110	fffe
4	0000 0000 0000 0011	0003	65536	1111 1111 1111 1111	ffff

6. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 48 + 16 = 64$$

أَي أَنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو 64/.

الجدول (د- 34): بعضٌ مِن عناوين الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال الثَّامِن عَشر في المُلحَق د

مُعرِّف الفضاء	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ
1	2000:1234:abcd:0000::/64
2	2000:1234:abcd:0001::/64
3	2000:1234:abcd:0002::/64
4	2000:1234:abcd:0003::/64
65533	2000:1234:abcd:fffc::/64
65534	2000:1234:abcd:fffd::/64
65535	2000:1234:abcd:fffe::/64
65536	2000:1234:abcd:ffff::/64

المِثال التَّاسِع عَشر: المُعرِّف يَنتهِي عند حُدُود المَرتبة سِتة العَشريَّة

المَطلُوب تجزئة فضاء العناوين 2000::/16 حسب القناع 19/.

1. طُول البادِئة هُو 16 بتاً، والطُّول الإجماليُّ لِلعُنوان هُو 128 بتاً. يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ ومُعرِّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SintID} = 128 - 16 = 112$$

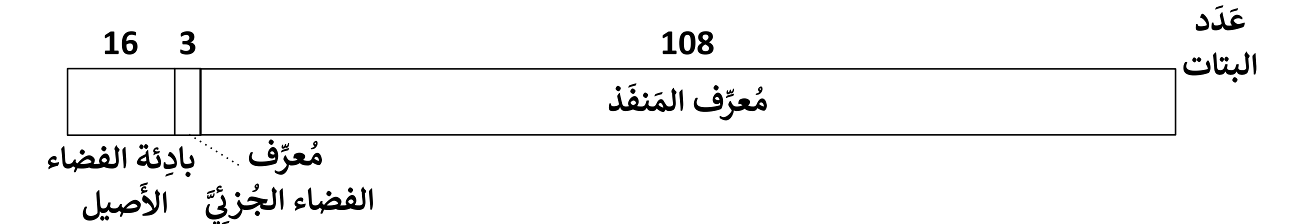
2. يكون طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مقدراً بالبت:

$$b_{SID} = 19 - 16 = 3$$

3. حِساب طُول مُعرِّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{int} = 112 - 4 = 108$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-18) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.



الشَّكل (د-18): بِنية عُنوان الإصدار السَّادِس مِن بروتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال التَّاسِع عشر في المُلحَق د

الجدول (د- 35): بعضٌ مِن مُعرِّفَات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال التَّاسِع عَشر في المُلحَق د

رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف	رقم المُعرِّف	قِيمة المُعرِّف
1	000	5	100
2	001	6	101
3	010	7	110
4	011	8	111

الجدول (د- 36): بعضٌ مِن عناوين الأَفضية الجُزئِيَّة في المِثال التَّاسِع عَشر في المُلحَق د

مُعرِّف الفضاء	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ	رقم المُعرِّف	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ
1	2000::/20	5	2000:8000::/20
2	2000:2000::/20	6	2000:a000::/20
3	2000:4000::/20	7	2000:c000::/20
4	2000:6000::/20	8	2000:e000::/20

المِثال العُشرون: المُعرِّف يَنتهِي عند حُدُود بتٍ ضِمن مَرتبةٍ سِتة العَشريَّة

المَطلُوب تجزئَة فضاء العناوين 2000:1:2:3::/64 إلى عَدَدٍ مِن الأَفضية الجُزئيَّة في كُلٍّ مِنها 64 عُنواناً فقط.

1. طُول البادِئة هُو 64 بتاً، والطُّول الإجماليُّ لِلعُنوان هُو 128 بِتاً، يَكُون مَجمُوع طُولي مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ ومُعرِّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SintID} = 128 - 64 = 64$$

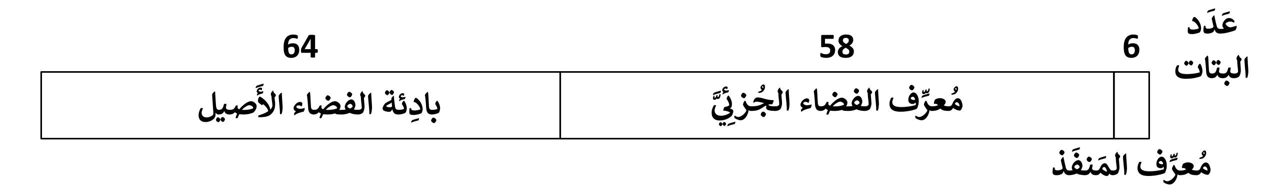
2. حِساب طُول مُعرِّف المَنفَذ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{int} = \lceil \log_2 64 \rceil = 6$$

3. حِساب طُول مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ مُقدَّراً بالبت:

$$b_{SID} = 64 - 6 = 58$$

ويُبيِّن الشَّكل (د-19) بِنية عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ النَّاتِج.



الشَّكل (د-19): بِنية عُنوان الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت النَّاتِج في المِثال العشرين في المُلحَق د

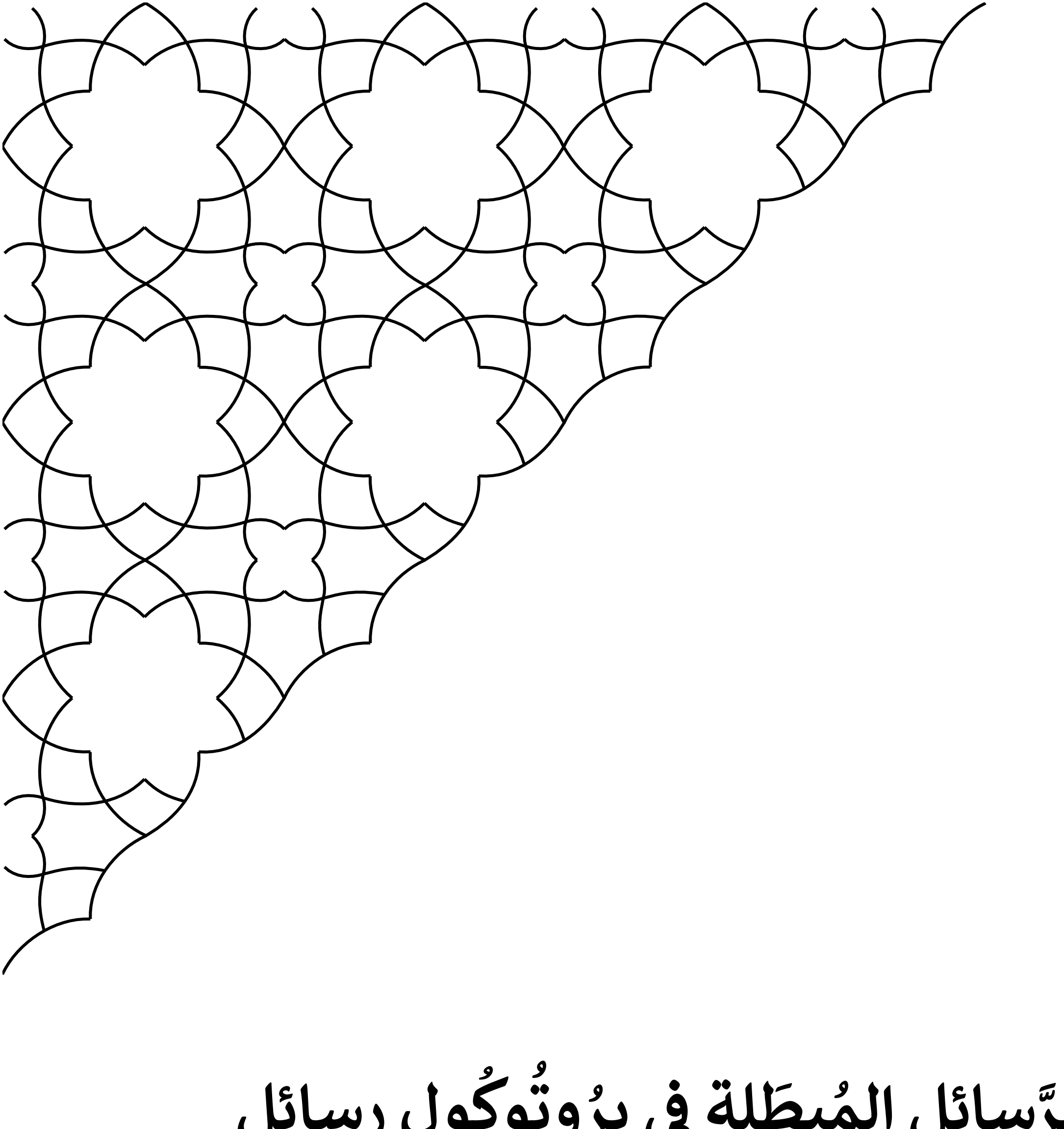
4. حِساب عَدَد الوِحدَان في قِناع التَّجزئَة:

$$b_{mask} = 64 + 58 = 122$$

أي أنَّ قِناع الأَفضية الجُزئِيَّة هُو $/122$.

الجدول (د- 37): بعضٌ مِن مُعرِّفَات الأَفضية الجُزئيَّة في المِثال العشرون في المُلحَق د

المرتبة سِت العَشريَّة الأَقل أَهمِّيَّةً المُشترَكة بين المُعرِّفَين			حالات مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ (بنِظام العَدِّ سِتة العَشريِّ)	عُنوان الفضاء الجُزئِيِّ
بنِظام العَدِّ الثُّنائِيِّ		بنِظام العَدِّ سِتة العَشريِّ		
قِسم مُعرِّف المَنفَذ	قِسم مُعرِّف الفضاء الجُزئِيِّ			
00	00	0	0000 0000 0000 000	2000:1:2:3::/122
00	01	4	0000 0000 0000 004	2000:1:2:3::40/122
00	10	8	0000 0000 0000 008	2000:1:2:3::80/122
00	11	c	0000 0000 0000 00c	2000:1:2:3::c0/122
00	00	0	0000 0000 0000 010	2000:1:2:3::100/122
⋮			⋮	
00	01	4	ffff ffff ffff ff4	2000:1:2:3:ffff:ffff:ffff:ff40/122
00	10	8	ffff ffff ffff ff8	2000:1:2:3:ffff:ffff:ffff:ff80/122
00	11	c	ffff ffff ffff ffc	2000:1:2:3:ffff:ffff:ffff:ffc0/122



المُلحَق هـ: الرَّسائِل المُبطَلة في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنت

الجدول (هـ-1): الرَّسائِل المُبطَلِة في برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت[851]

حقل النَّوع	اسم الرِّسالة	سبب الإبطال
4	تهدِئة المَصدَر	عدم فعاليَّة الآليَّة في مُعالجة ظاهِرة الازدحام.[852]
6	عُنوان المُضيف البديل	لا مَعلُوماتَ مُتوفِّرةٌ عن هذا النَّوع مِن الرَّسائِل[853]
15	طَلب مَعلُوماتٍ	ظُهُور تقنيَّات أُخرَى تُقدِّم هذه الخِدمات بكفاءَةٍ نحو برُوتُوكُول تهيئَة المُضيف الآليَّة.[854]
16	الرَّدُّ على طَلب مَعلُوماتٍ	
17	طَلب قِناع عُنوانٍ	
18	الرَّدُّ على طَلب قِناع عُنوانٍ	
30	تَتَبُّع المَسار	عُرِّفت الرِّسالة بصفتها خِياراً تجريبيَّاً لِلإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ولم تُطبَّق أبداً على نِطاقٍ واسِعٍ.[855]
31	خطأٌ في تحويل حزمة البيانات	كان الهدف مِن تطوير هذه الرِّسالة هُو الإبلاغ عن أَخطاء تحويل رِزم البيانات في الإصدار السَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنت،[856] ولكنَّ البرُوتُوكُول ولم يُطبَّق أبداً على نِطاقٍ واسِعٍ.[857]
32	إعادة توجيه المُضيف المُتحرِّك	طُوِّرت هذه الرِّسالة بالأَصل لِتَكُون جُزءاً مِن برُوتُوكُولٍ تجريبيٍّ لِمُضيفِي برُوتُوكُول الإنترنِت المُتحرِّكين، ولكنَّ البرُوتُوكُول لم يُطبَّق أبداً على نِطاقٍ واسِعٍ.[858]

[851] انظر قائِمة كُلِّ الخِيارات في [WEB13] في ثَبت المَراجِع.

[852] أَصل الاسم Source quench، عُرِّفت في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 792. مِن أَجل المزيد عن سبب إبطالها انظر ص. 2 في [RFC6633] في ثَبت المَراجِع.

[853] أصل الاسم Alternate host address، انظر ص. 3 في [RFC6918] في ثَبت المَراجِع.

[854] أُصول أَسماء هذه الرَّسائل على التَّرتيب: Information request وInformation reply وAddress mask request و Address mask reply. عُرِّفت الرِّسالتان الأُولَى والثَّانِية في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 792، والرِّسالتان الثَّالِثة والرَّابِعة في وثيقة طَلب التَّعليقات RFC 950. مِن أَجل المزيد عن سبب إبطالها، انظر ص. 2 في [RFC6633] في ثَبت المَراجِع، مِن أَجل برُوتُوكُول تهيئَة المُضيف الآليَّة انظر [RFC2131].

[855] أَصل الاسم Traceroute، انظر تعريف الخِيار في ص. 3-4 في [RFC1393] في ثَبت المَراجِع وإبطاله في ص 3 في [RFC6814].

[856] أَصل الاسم "TP/IX" وأَيضاً "IP version 7". كان الإصدار الخامِس مِن البرُوتُوكُول تجريبيَّاً عند تطوير هذا البرُوتُوكُول، وكان العمل جارياً على تطوير إصدارٍ مُحسَّنٍ مِنه، ظنَّ مُطوِّر البرُوتُوكُول أَنَّه سيَحمِل الرَّقم 6، لِذلك اختار الرَّقم 7 استباقيَّاً، ولكنَّ العمل في تطوير الإصدار الخامِس توقَّف، ثُمَّ طُوِّر الإصدار السَّادِس تطويراً مُنفصِلاً. لِلمزيد حول التَّسمية، انظر ص. 7 في [RFC1475] في ثَبت المَراجِع.

[857] أَصل الاسم Datagram conversion error، انظر تعريف الرِّسالة في ص. 23-24 في [RFC1475] في ثَبت المَراجِع وإبطالها في ص. 3 في [RFC6814].

[858] المُضيف المُتحرِّك Mobile host، واسم الرِّسالة الأَصيل Mobile host redirect، مِن أَجل اقتراح الرِّسالتين انظر [WEB47] في ثَبت المَراجِع، ومِن أَجل إبطالها انظر ص. 4 في [RFC6918].

33	عُقدة الإصدار السَّادِس، أَين أَنت	طُوِّرت هاتان الرِّسالتان ضِمن مَشرُوعٍ يَهدُف لِتحديد العُقَد الجيران الَّتي تُشغِّل الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِمُضيفٍ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، ولكنَّ البرُوتُوكُول لم يُطبَّق أَبداً على نِطاقٍ واسِعٍ[859].
34	عُقدة الإصدار السَّادِس، أَنا هُنا	
35	طَلب التَّسجيل	طُوِّرت هاتان الرِّسالتان لِدعم توجيه رِزم بيانات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لدَى العُقد المُتحرِّكة، ولكنَّ البرُوتُوكُول لم يُطبَّق أَبداً على نِطاقٍ واسِعٍ.[860]
36	الرَّدُّ على طلب التَّسجيل	
37	طَلب اسم النِّطاق	طُوِّرت هاتان الرِّسالتان ضِمن آليَّةٍ تسمح لِلمُضيف بالحُصُول على اسم النِّطاق المُؤَهَّل المُكتمِل،[861] ولكنَّ البرُوتُوكُول لم يُطبَّق أَبداً على نِطاقٍ واسِعٍ[862].
38	الرَّدُّ على طَلب اسم النِّطاق	
39	إدارة المَفاتيح لبرُوتُوكُول الإنترنِت	طُوِّرت هذه الرِّسالة لِدعم إدارة المَفاتيح البسيطة لِبرُوتُوكُول الإنترنِت،[863] ولكنَّ البرُوتُوكُول لم يُطبَّق أَبداً على نِطاقٍ واسِعٍ،[864] ثُمَّ أُستبدِل استبدالاً نِهائيّاً وحلَّ مَحلَّه برُوتُوكُول تبادُل مفاتيح الإنترنِت في عام 1998م.[865]

[859] أَصلا اسمي الرِّسالتين IPv6 where-are-you وIPv6 I-am-here على التَّرتيب. مِن أَجل اقتراح الرِّسالتين انظر [WEB48] في ثَبت المَراجِع، ومِن أَجل إبطالها انظر ص. 4 في [RFC6918].

[860] أَصلا اسمي الرِّسالتين Mobile registration request وMobile registration reply، مِن أَجل اقتراح الرِّسالتين انظر [WEB49] في ثَبت المَراجِع، ومِن أَجل إبطالها انظر ص. 4 في [RFC6918].

[861] أَصل الاسم Fully Qualified Domain Name اختصاراً FQDN، وهُو اسم نِطاقٍ يَتضمَّن كُلَّ النِّطاقات العُليا ذات الصِّلة بالكِيان صاحِب الاسم. لِلمزيد حوله انظر ص. 5 في [RFC1594] في ثَبت المَراجِع.

[862] أَصلا اسمي الرِّسالتين Domain name request وDomain name reply على التَّرتيب، مِن أَجل اقتراح الرِّسالتين انظر [RFC1788] في ثَبت المَراجِع، ومِن أَجل إبطالها انظر ص. 4-5 في [RFC6918].

[863] أَصل الاسم Simple Key-management for Internet Protocol، اختصاراً SKIP. لِلمزيد حوله انظر [WEB50] و[WEB51] في ثَبت المَراجِع.

[864] مِن أَجل إبطال الرِّسالة انظر ص. 5 في [RFC6918].

[865] أَصل الاسم Internet Key Exchange، اختصاراً IKE، لِلمزيد حوله انظر [RFC2409] في ثَبت المَراجِع.

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



المُلحَق و: بُنَى ترويسات الإِصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإِنترنِت ومُلحَقاتها

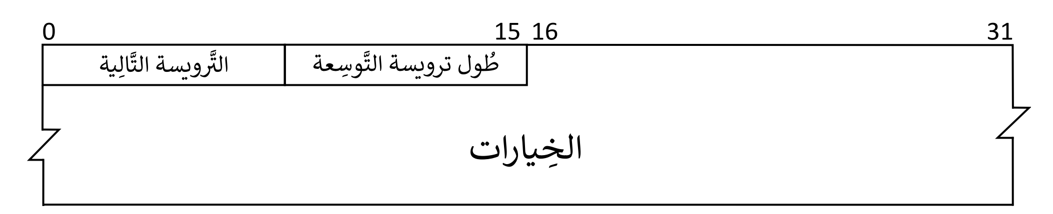
بُنَى التَّرويسات

ترويسة خِيارات المَسار[866]

تُستعمَل لِحمل مَعلُوماتٍ لِخياراتٍ يُمكِن فحصها أَو مُعالَجة مُحتوَاها في كُلِّ مُوجِّهٍ تمرُّ به الرِّزمة عبر مَسارها إِلى وِجهتها النِّهائِيَّة. قِيمة النَّوع الخاصَّة بهذه التَّرويسة هي 0، وإِذا وَردت في رِزمة بياناتٍ، فيَلزَم أَن تُوضَع هذه القِيمة في حَقل التَّرويسة التَّالِية المَوجُود في التَّرويسة السَّابِقة.

طُول ترويسة خِيارات المَسار مُتغيِّر، وهي تَتكوَّن مِن حَقلين ثابِتي الطُّول يَليهما حَقلٌ واحِدٌ مُتغيِّر الطُّول، وهذه الحُقُول هي وَفقاً لِترتيب ورُودِها (الشَّكل (و-1)):[867]

- حَقل التَّرويسة التَّالِية: طُوله 8 بتات، ويَحتوِي قِيمةً تُعرِّف نوع التَّرويسة المَوجُودة مُباشَرةً بعد هذه التَّرويسة.
- حَقل طُول ترويسة التَّوسِعة: وطُوله 8 بتات، ويَحتوي عَدَداً صحيحاً مُوجِباً يُمثِّل طُول ترويسة خِيارات المَسار بواحدةٍ هي 8 بايتات، مِن غير احتساب البايتات الثَّمانِية الأُولَى. مثلاً إذا كان طُول التَّرويسة هُو 16 بايتاً، فإِنَّ قِيمة هذا الحَقل هي 1، وإذا كان طُول التَّرويسة هُو 32 بايتاً فإِنَّ قِيمة هذا الحَقل هي 3.
- حَقل الخيارات: مُتغيِّر الطُّول، يَضمُّ خِياراً واحِداً أَو أَكثَر مِن خِيارات المَسار، ويَلزَم أَن يَكُون طُول هذا القِسم مُتوافِقاً مع واحِدة البايتات الثَّمانِية، أَي مِن المَقبُول أَن يَكُون الطُّول: 8 أَو 16 أَو 24 بايت ... إلخ.



الشَّكل (و-1): بِنية ترويسة خِيارات المَسار

ترويسة التَّوجيه[868]

تَستعمِل عُقدةٌ لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت ترويسة التَّوجيه لِتحديد مَسار رِزمة أَو جُزءاً مِنه مِن خلال إِضافة قائِمةٍ تَضمُّ عناوين العُقد الوسيطة الَّتي يَلزَم أَن تَعبُرها الرِّزمة عبر مَسارها وصُولاً إِلى وِجهتها. تَتَشابَه وظيفة هذه التَّرويسة مع وظيفة خِيار التَّوجيه غير المُقيِّد بمَسار المَصدَر في الإِصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترِنت. قِيمة النَّوع الخاصَّة بترويسة التَّوجيه هي 43، وإِذا وَرَدت هذه التَّرويسة في رِزمة بياناتٍ، فيَلزَم أَن تُوضَع هذه القِيمة في حَقل التَّرويسة التَّالِية المَوجُود في التَّرويسة السَّابِقة.

---

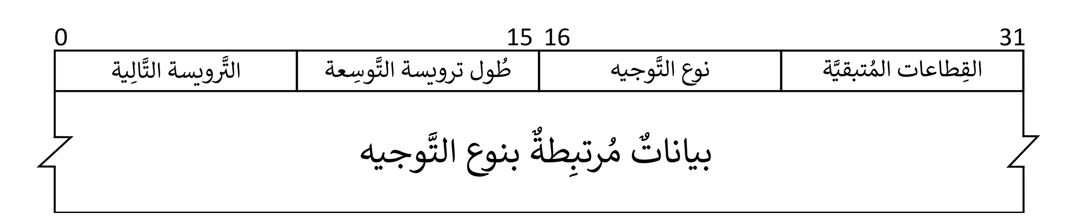
[866] أَصل الاسم Hop-by-hop options header.

[867] انظر ص. 13 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[868] أَصل الاسم Routing header.

ترويسة التَّوجيه مُتغيَّرة الطُّول، وهِي تَتَكوَّن مِن أَربعة حُقُولٍ ثابِتة الطُّول يَليها حَقلٌ وحيدٌ مُتغيِّر الطُّول، وهذه الحُقُول هِي وَفقاً لِترتيب ورُودها (الشَّكل (و-2)):[869]

- حَقل التَّرويسة التَّالِية: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوي قِيمةً تُعرِّف نوع التَّرويسة المَوجُودة مُباشَرةً بعد هذه التَّرويسة.
- حَقل طُول ترويسة التَّوسِعة: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوِي عَدَداً صحيحاً مُوجِباً يُمثِّل طُول ترويسة خِيارات المَسار بواحِدة البايتات الثَّمانية، مِن غير احتساب البايتات الثَّمانية الأُولَى.
- حَقل نوع التَّوجيه: طُوله 8 بتاتٍ، ويَضمُّ مُعرِّفاً يُحدِّد نوع التَّوجيه، وتَحتفِظ هيئَة أَرقام الإنترنت المُخصَّصة بقائِمةٍ معياريَّةٍ لِمُعرِّفات المَدعُومة مِن طَرف البرُوتُوكُول ومَعاني كُلٍّ مِنها.[870] أُعتمِد النَّوع ذو القِيمة 0 في المِعيار الأَصيل، لكنَّه أُبطل لاحِقاً لِأَسبابٍ أَمنيَّةٍ.[871]
- حَقل القِطاعات المُتبقيَّة: طُوله 8 بتاتٍ، ويَضمُّ مُعرِّفاً رقميَّاً لِعَدَدٍ مِن قِطاعات الشَّبكة[872] الوسيطَة الَّتي يَلزَم عُبُورها قبل الوصُول إلى الوِجهة النِّهائِيَّة، ولكنَّها لمَّا تُزَر بعدُ.
- حَقل بياناتٍ مُرتَبِطةٍ بالنَّوع: مُتغيِّر الطُّول، ويَحتوِي مَجمُوعةً واحِدةً أَو أَكثرَ مِن هياكل البيانات الَّتي يَكُون طُولها مُتوافِقاً مع واحِدة البايتات الثَّمانِية، لِتَكُون نهايتها عند نهاية التَّرويسة دائِماً. أَما بِنية الهياكل، فهِي تَتَحدَّد بنوع التَّوجيه.



الشَّكل (و-2): بِنية ترويسة التَّوجيه

يُوجَد حالتان مُرتبِطتان بترويسة التَّوجيه تَستوجِبان إرسال رسائِلُ إبلاغ عن أَخطاءٍ خاصَّةٍ ببرُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وهُما:[873]

1. إذا استقبلت عُقدةٌ ما، مُغايرةٌ لِلوِجهة النِّهائِيَّة، رِزمة بياناتٍ تَحتوِي ترويسة التَّوجيه، وكان نوع التَّوجيه غيرَ مَعرُوفٍ، فيَلزَم عندها التَّخلُّص مِن الرِّزمة أَيضاً ثُمَّ إرسال رِسالة الخطَأ. أَمَّا إذا كانت العُقدة هِي الوِجهة النِّهائِيَّة، فتُهمَل التَّرويسة وتُعالَج الرِّزمة.

---

[869] انظر ص. 14 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[870] لِلوصُول إلى هذه القائِمة انظر [WEB30] في ثَبت المَراجِع.

[871] في النَّوع ذِي القِيمة 0، يَستطِيع المُضيف المَصدَر أَن يُحدِّد عناوين العُقَد الَّتي ستَمُرُّ فيها الرِّزمة بالتَّرتيب، وسَبَّب هذا إشكالاً أَمنيَّاً لِأَنَّه يَسمَح بإدراج العُنوان نفسِه أَكثرَ مِن مرَّةٍ في التَّرويسة نفسِها، ويُسبِّب هذا إعادة توجيه الرِّزمة نحو العُقدة نفسِها أَكثرَ مِن مرَّةٍ خلال مَسارها وبالتَّالي تشكيل حلقاتٍ. لِلمزيد في هذا الشَّأن انظر ص. 200 في [BKE02] في ثَبت المَراجِع، وأَيضاً ص. 3 في [RFC5095].

[872] قِطاع الشَّبكة Network segment، وهُو وصلةٌ مُشترَكةٌ تَربُط بين مَنافِذ الشَّبكة المَحلِّيَّة، انظر ص. 103 في [STD03] في ثَبت المَراجِع.

[873] انظر ص. 15 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

2. إذا كان توجيه الرِّزمة لازِماً عبر شَبكةٍ ما، ولكن كان طُولها أكبرُ مِن قِيمة وَحدة النَّقل العُظمَى لِلشَّبكة، وعندها يَلزَم على العُقدة الَّتي تُوجِّه الرِّزمة أن تَتَخلَّص مِنها قبل أن تُرسِل رِسالة الخطَأ المُناسِبة إلى مَصدَر البرُوتُوكُول.

ترويسة القِطعة[874]

تُضاف ترويسة القِطعة إلى القِطع كُلِّها النَّاتِجة عن عمليَّة تقطيع رِزم البيانات. قِيمة النَّوع الخاصَّة بهذه التَّرويسة هي 44،[875] وإذا وَرَدت هذه التَّرويسة في رِزمة بيانات، فيَلزَم أن تُوضَع هذه القِيمة في حَقل التَّرويسة التَّالِية المَوجُود في التَّرويسة السَّابِقة.

يَبلُغ طُول ترويسة القِطعة 8 بايتات، وتَتَألَّف مِن سِتة حُقُولٍ دائِمةٍ، هي وَفقاً لِترتيب ورُدوها (الشَّكل (و-3)):[876]

- حَقل التَّرويسة التَّالِية: طُوله 8 بتاتٍ، ويُضبَط ضبطاً مُشابِهاً لِحَقل التَّرويسة التَّالِية في ترويسة البرُوتُوكُول الأَصيلة.
- حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله 8 بتاتٍ، يُضبَط إلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ في مَصدرَ الرِّزمة عند الإرسال.
- حَقل إزاحة القِطعة: طُوله 13 بت، يَحتوِي على مَوقِع حُمُولة القِطعة النِّسبيِّ ضِمن حُمُولة الرِّزمة الأَصلية، وتُشير قِيمة الرَّقم المَوجُود فيه إلى الإزاحة بواحِدةٍ هي 8 بايتاتٍ، فإذا كانت قِيمة هذا الحَقل مثلاً هي 2، فإنَّ إزاحة القِطعة الحقيقيَّة هي 16 بايتاً.
- حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله بتان، يُضبَط إلى قِيمةٍ صِفريَّةٍ في مَصدَر الرِّزمة عند الإرسال.
- عَلَم المزيد مِن القِطع: طُولُه بتٌ واحِدٌ، ويُستخدَم لِلإشارة إلى القِطعة الأَخيرة. إذا كانت قِيمته 1، فهذا يَعنِي وُجُود قِطعٍ لاحِقةٍ نَتَجت عن عمليَّة التَّقطيع. أمَّا إذا كانت قِيمته 0، فذلك يَعنِي بأَنَّ هذه القِطعة هي الأَخيرة.
- حَقل مُعرِّف القِطعة: طُوله 32 بتاً، وهُو يَحتوِي قِيمةً فريدةً تُميِّز الرِّزمة الأَصيلة والقِطع الَّتي نَتَجت عن تقطيعها كُلِّها. تُوجَد خوارزميَّاتٌ مُتعدِّدةٌ لِاختيار قِيمة المُعرِّف لِيَكُون فريداً وآمناً، وهي مَوصُوفة في وثيقة طلب التَّعليقات RFC 7739.[877]

0	15 16	28	31
التَّرويسة التَّالِية	مَحجُوزٌ	إزاحة القِطعة	مَحجُوزٌ عَلَمٌ
المُعرِّف			

الشَّكل (و-3): بِنية ترويسة القِطعة

[874] أَصل الاسم Fragment header.

[875] انظر [WEB05] في ثَبت المَراجِع.

[876] انظر ص. 15-16 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[877] انظر [RFC7739] في ثَبت المَراجِع.

ترويسة خِيارات الوجهة[878]

تُستخدَم هذه التَّرويسة لِحمل الخِيارات الَّتي تُعالجها الوِجهة النِّهائِيَّة لِلرِّزمة فقط. قِيمة النَّوع الخاصِّ بترويسة خِيارات التَّوجيه هي 60، وإِذا وَرَدت هذه التَّرويسة في رِزمة بياناتٍ، فيَلزَم أَن تُوضَع في حَقل التَّرويسة التَّالِية المَوجُود في التَّرويسة السَّابِقة.

ترويسة خِيارات الوجهة مُتغيِّرة الطُّول، وهي تَتَطابَق في بِنيتها مع ترويسة خِيارات المَسار (الشَّكل (و-1))، وتَتَكوَّن مِن حَقلين ثابِتي الطُّول يَليهما حَقلٌ وحِيدٌ مُتغيِّر الطُّول، وهذه الحُقُول هي وَفقاً لِترتيب ورُودِها:[879]

- حَقل التَّرويسة التَّالِية: طُوله 8 بتاتٍ، ويحتوي قِيمةً تُعرِّف نوع التَّرويسة المَوجُودة مُباشرةً بعد هذه التَّرويسة.
- حَقل طول ترويسة التَّوسِعة: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوي عَدَداً صحيحاً مُوجِباً يُمثِّل طُول ترويسة خِيارات المَسار بواحِدة البايتات الثَّمانِية، من غير احتساب البايتات الثَّمانِية الأُولَى احتساباً مُشابهاً لِما تَقدَّم.
- حَقل الخِيارات: مُتغيِّر الطُّول، يَضمُّ خِياراً واحِداً أَو أَكثر مِن خِيارات الوِجهة، ويَلزَم أَن يَكُون طُول هذا القِسم مُتوافِقاً مع واحِدة البايتات الثَّمانِية، أَي مِن المَقبُول أَن يَكُون الطُّول: 8 أو 16 أو 24 بايت ... إلخ.

ترويسة المُصادَقة[880]

تُؤَمِّن ترويسة المُصادَقة آلِيَّةً لِلتَّحقُّق مِن هوية مَصدَر رِزم البيانات المَنقُولة عبر اتِّصال يَجرِي عبر قناةٍ غير مُهيَّأةٍ. تَسمَح آلِيَّة التَّحقق بمنع تلاعُب وسيطٍ ما برِزم البيانات عند حركتها بين مَصدرِها ووِجهتها، وتُستخدَم في التَّصدي لِهَجمات الوسيط. قِيمة النَّوع الخاصِّ بترويسة المُصادَقة هي 51، وإِذا وَردت هذه التَّرويسة في رِزمة بيانات، فيَلزَم أَن تُوضَع هذه القِيمة في حَقل التَّرويسة التَّالِية المَوجُود في التَّرويسة السَّابِقة.[881]

ترويسة خيارات الوِجهة مُتغيَّرة الطُّول، وهي تَتَكوَّن مِن سِتة حُقُولٍ، خمسةٌ منها ثابِتة الطُّول يَليها حَقلٌ وحيدٌ مُتغيِّر الطُّول، وهذه الحُقُول هي وَفقاً لِترتيب ورُودها (الشكل و-4):[882]

- حَقل التَّرويسة التَّالِية: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوِي قِيمة تُعرِّف نوع التَّرويسة المَوجُودة مُباشرةً بعد هذه التَّرويسة.
- حَقل طُول الحُمُولة: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوِي طُول ترويسة التَّوسِعة بواحِدةٍ هي 32 بتاً (4 بايتاتٍ) مَنقوصاً مِنها 16 بتاً (بايتان). أَي إذا كان طُول التَّرويسة هُو 100 بايتٍ، فإِنَّ قِيمة هذا الحَقل هي $(100/4) - 2 = 25 - 2 = 23$.
- حَقلٌ مَحجُوزٌ طُوله 16 بتاً.

[878] أَصل الاسم Destination options header.

[879] انظر ص. 23 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[880] أَصل الاسم Authentication header.

[881] انظر ص. 3-4 في [RFC4302] في ثَبت المَراجِع.

[882] انظر ص. 5-9 في [RFC4302] في ثَبت المَراجِع

- حَقل فهرس وسائِط الأمن: طوله 32 بتاً، يحتوي مُعرِّف الجلسة الآمنة، وهي قِيمةٌ عشوائِيَّةٌ يضيفها المصدر إلى التَّرويسة وتُستخدَم مِن طَرف الوِجهة لِتمييز الجلسة الآمنة الَّتي أُرسلت الرِّزمة عبرها.
- حَقل رقم التَّتابع: طُوله 32 بتاً، يَحتوِي على عَدادٍ تُضبَط قِيمته في المَصدَر إلى قِيمةٍ مُحدَّدةٍ مع بدء الجلسة الآمنة، ثُمَّ قِيمة التَّتابُع بمِقدار واحِدٍ مع كُلِّ رِزمة بياناتٍ تُرسَل في الجلسة.
- حَقل قِيمة التَّحقُّق مِن السَّلامة: مُتغيِّر الطُّول، ويَلزَم أن يَكُون طُوله مِن مُضاعفات 32 بِتاً. يُضمُّ قِيمةً رياضيَّةً تُحسَب في العُقدة المَصدَر مِن أَجل مُحتوَيات رِزمة البيانات الَّتي لا تَتَغيَّر في أَثناء عُبُورها الشَّبكة. بعد أَن تَصِل الرِّزمة إِلى وِجهتها النِّهائِيَّة في العُقدة الوِجهة، لا يُمكِن الحُصُول على القِيمة نفسِها لِحَقل التَّحقُّق مِن السَّلامة إلا إذا كانت مُحتوَيات الرِّزمة هي نفسُها، أَي أَنَّها وصلت مِن المَصدَر إلى الوجهة مِن غير تلاعُبٍ فيها.

31	16 15	0
مَحجُوزٌ	طُول الحُمُولة	التَّرويسة التَّالِية
رقم التَّتابُع		
فَهرَس وسائِط الأَمن		
قِيمة التَّحقُّق مِن السَّلامة		

الشَّكل (و-4): بنية ترويسة المُصادَقة

ترويسة تَأمين الحُمُولة بالتَّغليف[883]

تُستعمل ترويسة تَأمين الحُمُولة بالتَّغليف لِتوفير مَجمُوعةٍ مِن خِدمات الأَمن الَّتي تَشمُل: سرِّيَّة البيانات والتَّحقُّق مِن هوية مَصدَرها، أَي المُصادَقة، ولِسلامة الاتِّصال عبر القنوات غير المُهيَّأة ولِلحماية مِن الهَجمات المُضادَّة لِإعادة الإرسال.[884] قِيمة النَّوع الخاصَّة بترويسة التَّوجيه هي 50، وإِذا وَردت هذه التَّرويسة في رِزمة بياناتٍ، فيَلزَم أَن تُوضَع هذه القِيمة في حَقل التَّرويسة التَّالِية المَوجُود في التَّرويسة السَّابِقة.[885]

ترويسة تَأمين الحُمُولة بالتَّغليف مُتغيِّرة الطُّول، وهي تَتَكوَّن مِن سبعة حُقُولٍ، أَربعةٌ مِنها ثابِتة الطُّول. وحُقُول هذه التَّرويسة هي وَفقاً لِترتيب ورُودها:[886]

- حَقل فهرس وسائِط الأَمن: طُوله 32 بتاً، يَحتوِي مُعرِّف الجلسة الآمِنة، وهي قِيمةٌ عشوائِيَّةٌ يُضيفها المَصدَر إلى التَّرويسة وتُستخدَم مِن طرف الوِجهة لِتمييز الجلسة الآمنة الَّتي أُرسِلت الرِّزمة عبرَها.
- حَقل رقم التَّتابع: طُوله 32 بتاً، يَحتوِي عداداً تُضبَط قِيمته الابتدائِيَّة في المَصدَر إلى قِيمةٍ مُحدَّدةٍ عند بَدء الجلسة الآمِنة، ثُمَّ تُزاد قِيمته بمِقدار وَاحِدٍ مع كُلِّ رِزمة بياناتٍ يُرسِلها مَصدَر الرِّزم في تلك الجلسة.
- حَقل بيانات الحُمُولة: مُتغيِّر الطُّول، يَحتوِي المَعلُومات الَّتي تُعمَّى مِن أَجل حمايتها.

883 أصل الاسم Encapsulating security payload header.

884 أصل الاسم Anti-replay attacks.

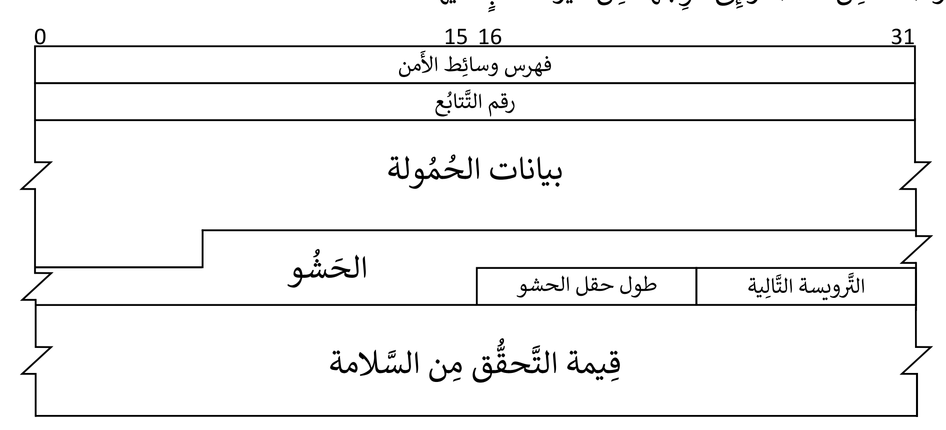
885 انظر ص. 1، 5 في [RFC4303] في ثَبت المَراجِع.

886 انظر ص. 10-17 في [RFC4303] في ثَبت المَراجِع.

- حَقل الحَشو: مُتغيِّر الطُّول، يَتراوح طُوله بين 0 و255 بايتاً، يَحتوِي بايتاتٍ إضافيَّةً مُلحَقةً بالحُمُولة. يُضاف حَقل الحَشو لِسببين:

1. قد يَلزَم حَدٌّ أَدنَى أو قِيمٌ مُحدَّدةٌ لِطُول البيانات المُراد تعميتها. مثلاً، أَن تَكُون مِن مُضاعَفات 4 أو 8 أو 16 بايتاً ... إلخ، وعندها تُضاف بايتات الحَشو لإكمال طُول البيانات حتَّى القِيمة اللَّازِمة.
2. قد يَلزَم إضافة بايتاتٍ عديدةٍ لِجعل نِهاية الحَقلين التَّالِيين تَقَع عند مُضاعَفات 4 بايتات، وعندها تُضاف بايتات حَشوٍ وَفقاً لِلحاجة لِتحقيق ذلك.

- حَقل طول الحَشو: طُوله 8 بتات، يَحتوِي عَدَد البايتات المُضافة في قِسم الحشو.
- حَقل التَّرويسة التَّالية: طُوله 8 بتاتٍ، يَحتوِي قِيمةً تُعرِّف نوع التَّرويسة المَوجُودة مُباشَرةً بعد هذه التَّرويسة.
- حَقل قِيمة التَّحقُّق مِن السَّلامة: مُتغيِّر الطُّول ويَلزَم أَن يَكُون طُوله مِن مُضاعَفات 32 بتاً، ويُضمُّ قِيمةً عدديَّةً تُحسَب باستعمال خوارزميةٍ مُحدَّدةٍ في العُقدة المَصدَر مِن أَجل مُحتوَيات رِزمة البيانات الَّتي لا تَتَغيَّر خلال عُبُورها الشَّبكة. يُعاد حِساب هذه القِيمة في العُقدة الوِجهة باستعمال الخوارزميَّة نفسِها، ولا يُمكِن الحُصُول على القِيمة نفسِها لِحَقل التَّحقُّق مِن السَّلامة إلا إذا كانت مُحتوَيات الرِّزمة هي نفسُها دون تغيير، ومَعنَى ذلك أَنَّها وَصَلت مِن المَصدَر إلى الوِجهة مِن غير تلاعُبٍ فيها.



الشَّكل (و-5): بِنية ترويسة تأمين الحُمُولة بالتَّغليف

بِنية الخِيارات

يُمكِن لِترويستان مِن التَّرويسات الَّتي تُعرِّفها مُحدِّدات البرُوتُوكُول أَن تَحمِل خِياراتٍ مُختلِفةً في العَدَد والطُّول، وهُما ترويستا خِيارات المَسار وخِيارات الوِجهة.

تَكُون بِنية الخِيار في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترِنت ثلاثيَّة الحُقُول، وهِي تَتَكوَّن مِن (الشَّكل (و-6)):[887]

- حَقل النَّوع: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوِي مُعرِّفاً رقميَّاً يُحدِّد نوع الخِيار.
- حَقل الطُّول: طُوله 8 بتاتٍ، ويَحتوِي طُول الخِيار مُقدراً بالبايت.

---

[887] انظر ص. 11 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

- حَقل القِيمة: مُتغيِّر الطُّول، تَكُون بِنيته ومعانِي القِيم فيها مُرتبِطةً بنوع الخِيار.

الشَّكل (و-6): بِنية الخِيار العامَّة في الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت

تُحدِّد قِيمة البتان الأَكثر أَهمِّيَّةً في حَقل النَّوع سُلُوك العُقدة الَّتي تُعالِج الخِيار إذا أَخفقت في التَّعرُّف على نوعه. فإذا كانت قِيمتهما $_2$(00)، فعلى العُقدة تخطِّي الخِيار واستكمال مُعالَجة التَّروِيسة. وإذا كانت قِيمتهما $_2$(01)، فعلى العُقدة التَّخلُّص مِن الرِّزمة. وإذا كانت قِيمتهما $_2$(10)، فعلى العُقدة التَّخلُّص مِن الرِّزمة والاعتماد على برُوتُوكُول رسائِل التَّحكُّم لِلإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت لِإرسال رِسالة إبلاغٍ عن خطَأٍ يُشير فيها إلى عدم إمكانيَّة التَّعرُّف على نوع الخِيار، وذلك بغضِّ النَّظر عن كُون مَصدَر الرِّزمة عُنوان بثٍّ فريد الوِجهة أَو عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ. أَمَّا إذا كانت قِيمتهما $_2$(11)، فعلى العُقدة تنفيذ ما سَبق فقط إذا لم يَكُن عُنوان مَصدَر الرِّزمة عُنوان بثٍّ مَجمُوعاتيٍّ. أَمَّا البت الثَّالِث أَهمِّيَّةً، فإنَّ قِيمته تُحدِّد فيما إذا كان مُحتوَى الخِيار يَتغيَّر في أَثناء انتقال الرِّزمة عبر الشَّبكة. فإن كان المُحتوَى مُتغيِّراً، كانت قِيمة البت هي 1، وإن كان ثابِتاً كانت قِيمته هي 0.[888]

مع أَنَّ مُحدِّدات البرُوتُوكُول تُقدِّم دليلاً إرشاديّاً لِتبيان كيفيَّة تصميم خِيارات الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت،[889] إلَّا أَنَّ وثيقة مُحدِّدات البرُوتُوكُول لا تُعرِّف إلَّا خِيارين اثنين فقط، هُما خِيار حشو بايتٍ واحِدٍ، وخِيار حَشو N بايتٍ (الشَّكل (و-7)).[890] ويُستخدَمان لِمُحاذاة نِهاية الخِيار مع واحِدة طُول التَّروِيسة، وهي 4 بايتاتٍ. أَي إذا كان طُول الخِيار مثلاً 11 بايتاً، يُضاف خِيار حَشو بايتٍ وحيدٍ في النِّهاية، وإن كان طُول الخِيار 13 بايتاً، يُضاف خِيار حشوٍ لِثلاث بايتاتٍ.

خِيار حَشو بايتٍ واحِدٍ هُو الخِيار الوحيد الَّذي لا يَتبع بِنية الخِيارات السَّابِقة، بل يَتكوَّن مِن بايتٍ وحيدٍ صِفريِّ البتات.

(أ) بايتٌ واحِدٌ

(ب) N بايت

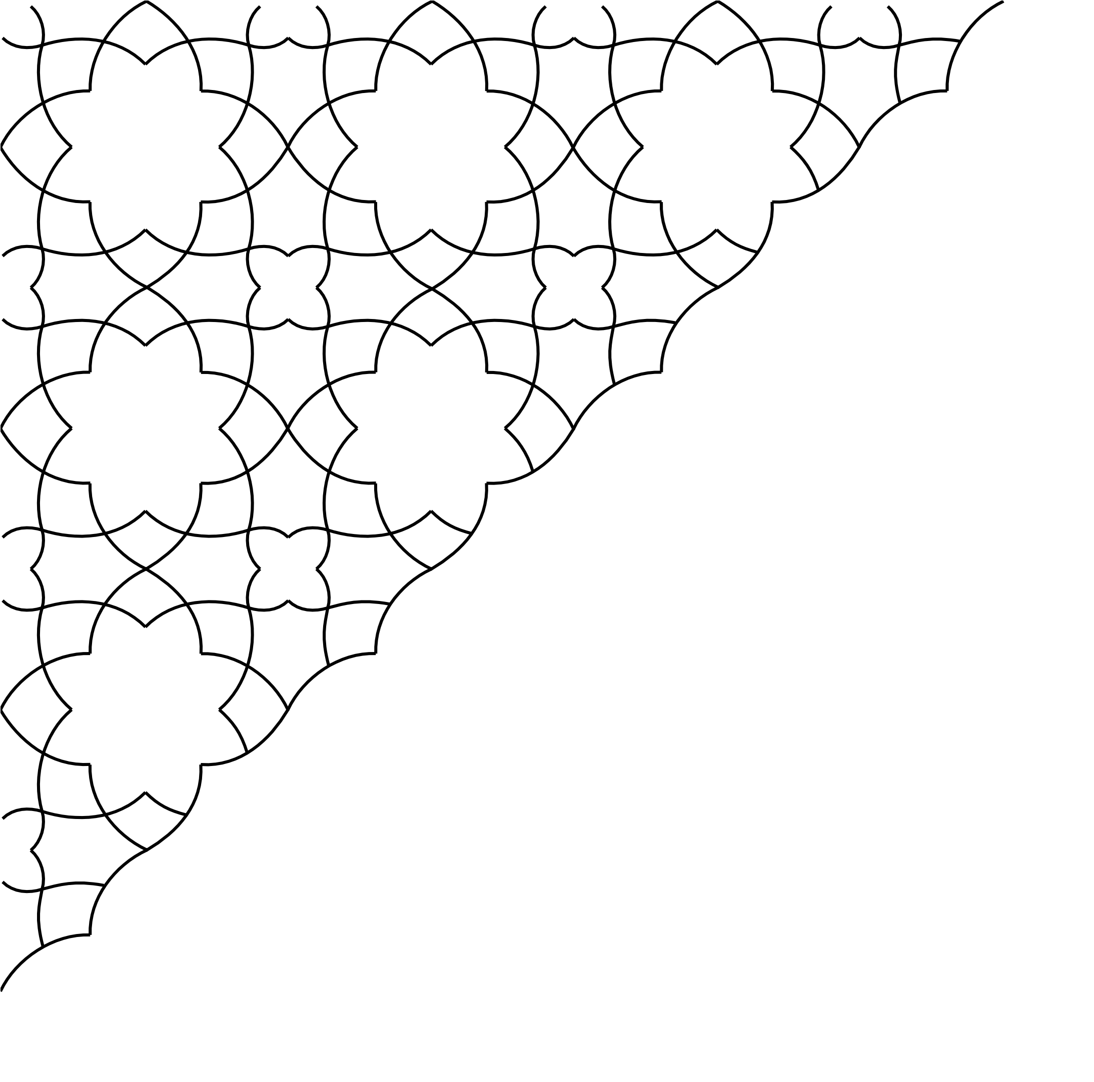
الشَّكل (و-7): بِنية خِياري الحَشو

---

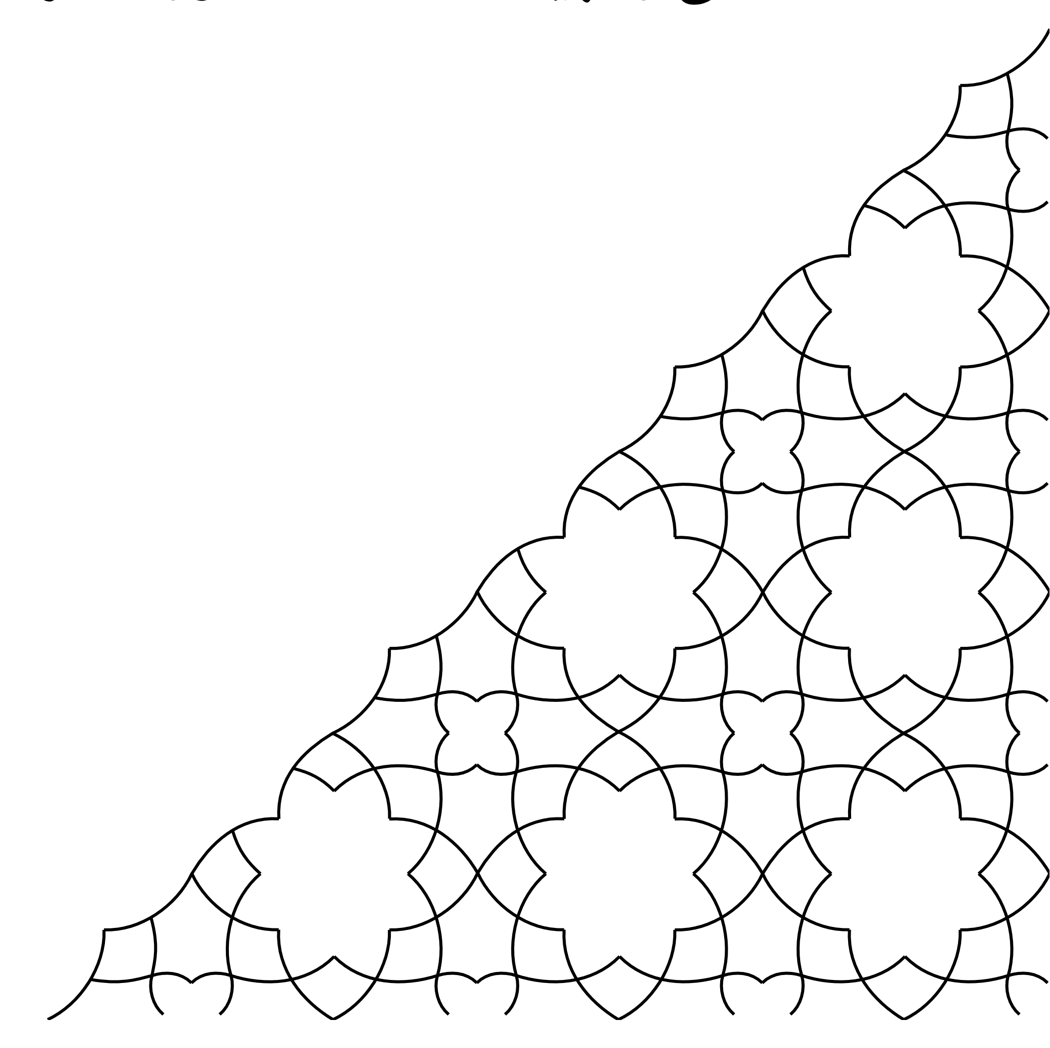
[888] انظر ص. 11-12 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[889] انظر ص. 36-38 في [RFC8200] في ثَبت المَراجِع.

[890] أَصل الاسمين على التَّرتيب: Pad1 option وPadN option.



المُلحَق ز: بيانات الأَشكال ورُخَصها



الجدول (ز-1): بيانات الأَشكال في مَوقِع ويكيميديا كُومُنز

رقم الشَّكل	اسم الصُّورة في مَوقِع ويكيميديا كُومُنز[891]	الرُّخصة
x-1	صُور الفصلِ الأَوَّلِ كلُّها غَير مَرفُوعةٍ على ويكيميديا كُومُنز.	-
1-2	File:The idea of the data packet (Baran, 1964)-ar.svg	CC BY-SA 4.0[892]
2-2	File:Network topology (Cerf 1974)-ar.svg	CC BY-SA 4.0
3-2	File:Network topology (Postel, 1980)-ar.svg	CC BY-SA 4.0
4-2	File:ARPA Model for transmission path (Postel, 1980)-ar.svg	CC BY-SA 4.0
5-2	File:Gateway halves (Postal, 1980)-ar.svg	CC BY-SA 4.0
6-2	File:PDU Fragmentaion - ar 01.png	CC BY-SA 4.0
7-2	File:N-to-m multiplexer and m-to-n network layer demultiplexer-ar.svg	CC BY-SA 4.0
8-2	File:OSI correspondence between layers-ar.svg	CC BY-SA 4.0
1-3	File:TCP and IP protocols development timeline-ar.svg	CC BY-SA 4.0
2-3	File:IPv4 Packet -ar.svg	CC BY-SA 4.0
3-3	File:IPv4 option general structure-ar.svg	CC BY-SA 4.0
4-3	-	-
5-3	File:IPv4 header - Type of Service structure-ar.svg	CC BY-SA 4.0
6-3	File:IPv4 address structure and writing systems-ar.svg	CC BY-SA 4.0
7-3	File:IPv4 address stracture-ar.svg	CC BY-SA 4.0
8-3	File:IPv4 classes-ar.svg	CC BY-SA 4.0
9-3	File:IPv4 address space-ar.svg	CC BY-SA 4.0
10-3	File:IPv4 Fragmentation Algorithm-ar.svg	CC BY-SA 4.0
11-3	File:IPv4 reassembly Algorithm-ar.svg	CC BY-SA 4.0
12-3	File:VLSM-problem.svg	CC BY-SA 4.0
1-4	File:Positional notation glossary-ar.svg	CC BY-SA 4.0
2-4	-	-
3-4	File:Subnetting Concept-ar.svg	CC BY-SA 4.0
4-4	-	-
5-4	-	-
6-4	-	-
7-4	File:Subnetting example (7) -ar.png	CC BY-SA 4.0
8-4	File:Subnetting example (11)-ar.png	CC BY-SA 4.0
9-4	File:Subnetting example (6)-ar.png	CC BY-SA 4.0
10-4	-	-
11-4	-	-
12-4	File:VLSM example-ar.png	CC BY-SA 4.0
13-4	File:Route aggregation example-ar.svg	CC BY-SA 4.0

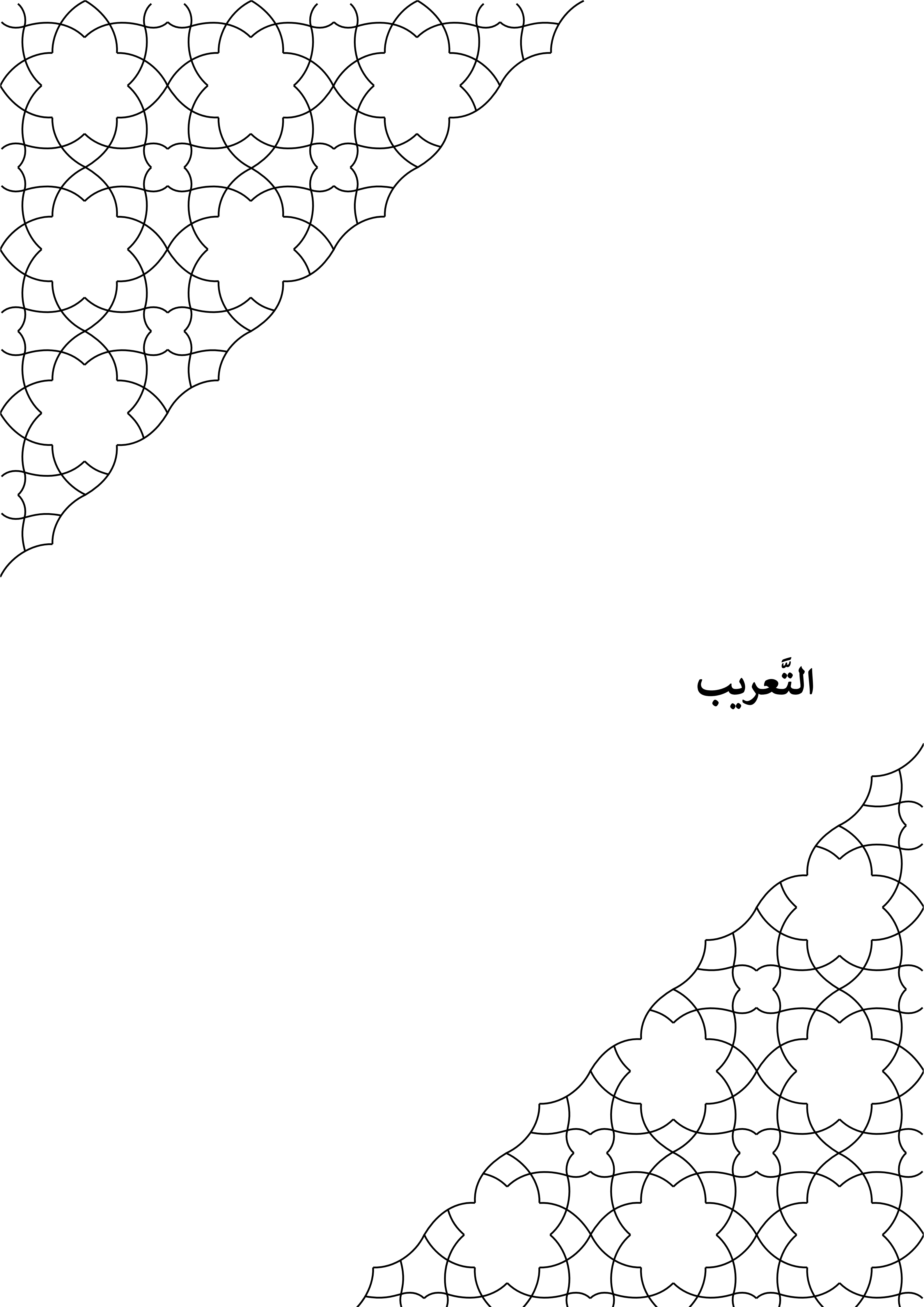
[891] يُمكِن الوصُول إلى صَفحة أَيِّ شَكلٍ انطلاقاً مِن اسمه باستعمال بادِئة الوَصلة: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:، على أن يُذكَر بعدَها اسم المُلفّ مُباشرةً مع لاحِقته، مع الانتباه لاستبدال مَحارِف الفراغات الأُفقيَّة " "بشرائِطَ أفقيةً "_"، مثلاً لِلوصُول إلى الشكل (12-4) تَكُون الوَصلة كما يأتي: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VLSM_example-ar.png.

[892] اسم الرُّخصة الكامِل هُو: الإصدار الرَّابِع مِن رُخصة المَشاع الإبداعيّ الدَّوليَّة المُلزِمة بنسب المُصنَّف إلى مُؤَلِّفه وبمُشاركة الأَعمال المُشتقَّة بالمِثل، انظر نصَّ الرُّخصة كامِلاً في https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.ar.

ملكيَّةٌ عامَّةٌ[893]	a. File:Unicast.svg b. File:Multicast.svg c. File:Broadcast.svg	1-5
CC BY-SA 4.0	File:Multicast Protocols-ar.svg	2-5
CC BY-SA 4.0	File:Multicast Terms - ar.png	3-5
CC BY-SA 4.0	File:Source-based Tree Vs Shared Tree - ar.png	4-5
-	-	5-5
CC BY-SA 4.0	File:Spanining Tree Calculation Cases - ar.png	6-5
-	-	7-5
CC BY-SA 4.0	File:IGMP Snooping Example - ar.svg	8-5
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 encapsulation-ar.svg	1-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMP error message UML-ar.svg	2-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMP header - General-ar.svg	3-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Destination Unreachable Message-ar.svg	4-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 redirect message example-ar.svg	5-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Redirect Message-ar.svg	6-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Time Exceeded Message-ar.svg	7-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Parameter Problem Message-ar.svg	8-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Echo and Echo replay message-ar.svg	9-6
CC BY-SA 4.0	a. File:ICMPv4 Router advertisement-ar.svg b. File:ICMPv4 Router Solicitation Message-ar.svg	10-6
CC BY-SA 4.0	File:ICMPv4 Timestamp Message-ar.svg	11-6
CC BY-SA 4.0	File:Ping command example.png	12-6
CC BY-SA 4.0	File:Tracert example.png	13-6
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 exhaustion time line-ar.svg	1-7
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 address assignment hierarchy-ar.svg	2-7
CC BY-SA 4.0	File:Regional Internet Registries world map-ar.svg	3-7
CC BY-SA 4.0	File:Ipv4-exhaust-ar.svg	4-7
CC BY-SA 4.0	File:RIPE NCC IPv4 Address Space Exhaustion-ar.svg	5-7
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 IANA and RIR exhaustion time line-ar.svg	6-7
CC BY-SA 4.0	File:Advertised routes before CIDR-ar.svg	1-8
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 classless addressing mode-ar.svg	2-8
CC BY-SA 4.0	File:IPv4 address space allocating example-ar.svg	3-8
-	-	4-8
-	-	5-8
CC BY-SA 4.0	File:Route Aggreation example-ar.svg	6-8
CC BY-SA 4.0	File:CIDR problem example-ar.svg	7-8
CC BY-SA 4.0	File:NAT Concept-ar.svg	1-9
CC BY-SA 4.0	File:Static NAT-ar.svg	2-9
CC BY-SA 4.0	File:Dynamic NAT-ar.svg	3-9
CC BY-SA 4.0	File:NAPT-ar.svg	4-9
CC BY-SA 4.0	File:Bidirectional NAT-ar.svg	5-9

[893] أَصل الاسم Public domain، وهي حالة لِحُقُوق التَّأليف والنَّشر تُغطِّي الأَعمال الإبداعيَّة غير المَحمِيَّة بحُقُوق تَأليفٍ ونَشرٍ أُخرَى، بما في ذلك الأَعمال الَّتي نَفِدت مُدَّة حُقُوق تأَليفها ونَشرِها أَو صُودِرت أَو أُسقِطت.

CC BY-SA 4.0	File:Twice NAT-ar.svg	6-9
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 timeline-ar.svg	1-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 headers sequence-ar.svg	2-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 header-ar.svg	3-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 address terminology-ar.svg	4-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 address stracture-ar.svg	5-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 global unicast address stracture-ar.svg	6-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 link local unicast address structure-ar.svg	7-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Unique Local unicast address structure-ar.svg	8-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 site local unicast address structure-ar.svg	9-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 IPv4-Compatible address structure-ar.svg	10-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 IPv4-Mapped address structure-ar.svg	11-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 multicast address stracture-ar.svg	12-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Prefix Assignment Example-ar.svg	13-10
CC BY-SA 4.0	File:Subnet Identifier Boundaries in IPv6-ar.svg	14-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Fragmentation Concept-ar.svg	15-10
CC BY-SA 4.0	File:IPv6 Fragmentation algorithm-ar.svg	16-10
CC BY-SA 4.0	File:Reassemled packet-ar.svg	17-10
-	-	1-11
CC BY-SA 4.0	File:Packet Too Big Message-ar.svg	2-11
-	-	3-11
CC BY-SA 4.0	File:Parameter Problem Message-ar.svg	4-11
CC BY-SA 4.0	a. File:Echo Request Message-ar.svg b. File:Echo Reply Message-ar.svg	5-11
CC BY-SA 4.0	c. File:Router Solicitation Message-ar.svg d. File:Router Advertisement Message-ar.svg	6-11
CC BY-SA 4.0	e. File:Neighbor Solicitation Message-ar.svg f. File:Neighbor Advertisement Message-ar.svg	7-11
CC BY-SA 4.0	File:Redirect Message-ar.svg	8-11
CC BY-SA 4.0	File:NDP Option structure-ar.svg	1-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Source-Target link-layer address-ar.svg	2-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Prefix information-ar.svg	3-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Redirect Header Option-ar.svg	4-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP MTU option-ar.svg	5-12
CC BY-SA 4.0	File:RS-RA Process to Find the Default Routers-ar.svg	6-12
CC BY-SA 4.0	File:RS-RA Process to Find prefix length-ar.svg	7-12
CC BY-SA 4.0	File:NS-NA Process Find Link Address for On-Link Neighbors-ar.svg	8-12
CC BY-SA 4.0	File:NS-NA Process Duplicated Address Detection-ar.svg	9-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP Neighbor Unreachability Detection State Diagram-ar.svg	10-12
CC BY-SA 4.0	File:NDP redirect message example-ar.svg	11-12
-	صُور المُلحَقين كلِّها غَير مَرفُوعةٍ على ويكيميديا كُومُنز.	أ-x، د-x
	لا صُور في هذه المَلاحِق.	ب-x، ج-x، هـ-x



التَّعريب

أَوَّلاً: مَسرَد المُصطلَحات المُعرَّبة

#

6 to 4	تقنيَّة 6 إلى 4
6 to 4 anycast address	عُنوان بثٍّ نحو الأَقرب لِتقنيَّة 6 إلى 4

A

Acknowledgment	إشعار تأكيد استلام
Acknowledgment flag	عَلَم إشعار تأكيد
Active	فعَّال
Address	عُنوان
Address mask reply message	رِسالة ردّ على طَلب قِناع عُنوان
Address mask request message	رِسالة طَلب قِناع عُنوان
Address realm	نِطاق عناوين
Address resolution	اقتران عناوين
Address resolution protocol	برُوتُوكُول اقتران العناوين
Address space	فضاء عناوين
Address spoofing attack	هُجُوم بانتحال عُنوان
Addressing	عَنونة
Ad-hoc block I	مَجمُوعة العناوين المُخصَّصة الأولى
Ad-hoc block II	مَجمُوعة العناوين المُخصَّصة الثَّانِية
Ad-hoc block III	مَجمُوعة العناوين المُخصَّصة الثَّالِثة
Ad-hoc mobile network	شَبكة مُخصَّصَة مُتحرِّكة
Ad-hoc Multicast Routing protocol	برُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيّ المُخصَّص للشَّبكات المُتحرِّكة
Administratively prohibited	مَحظُور إشرافيّاً
Advanced research projects agency network	شَبكة وَكالة مشاريع البُحوث المُتقدِّمة
African network information centre	مَركَز مَعلُومات الشَّبكة الإفريقيُّ
Aggregate route	مَسار مُختصَر
Aggregated routes	مَسارات مُجمَّعة
Allocation	تحصيص
Alternate host address message	رِسالة عُنوان المُضيف البديل
American National Standards Institute	المَعهد الأَمريكيّ لِلمعايير الوطنيَّة
American registry for Internet numbers	السِّجلُّ الأَمريكيُّ لأَرقام الإنترنِت
American standard code for information interchange	التَّرميز المِعياري الأَمريكيّ لِتبادل المَعلُومات، آسكي
Anti-replay attack	هُجُوم مُضادّ لإعادة الإرسال
Anycast	بثّ نحو الأَقرب
Any-source multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ غير مُحدَّد المَصدَر
Application	تطبيق
Application-level gateway	بوَّابة على مُستوَى التَّطبيق
Army research laboratory	مُختبَر أَبحاث الجيش الأَمريكيّ
ARPANET	أَربانِت
Asia-pacific network information centre	مَركَز مَعلُومات الشَّبكة في آسية والمُحيط الهادِي
Assignment	تخصيص
Assured forwarding behavior	سُلوك الإرسال المُؤَمَّن

Asymmetric protocol	برُوتُوكُول غير مُتناظِر
Attack	هُجُوم
Atomic fragment	قِطعة ذرِّيَّة
Authentication	مُصادَقة، تحقُّق مِن الهوية
Authentication header	ترويسة مُصادَقة
Autoconfiguration	تهيئَة ذاتيَّة
Automatic multicast tunneling	إنشاء آليّ لِأَنفاق بثّ مَجمُوعاتيّ
Autonomous address-configuration flag	عَلَم التَّهيئَة المُستقلّة للعناوين
Autonomous system	نِظام مُستقِلّ
Autonomous system number	رَقم نِظام مُستقِلّ
Autonomous system 112 project	مَشرُوع النِّظام المُستقِلّ رقم 112

B

Back pressure	ضغط خَلفيّ
Bandwidth	عَرض نِطاق
Basic reference model	النَّمُوذَج المَرجعيُّ الأَساسيُّ
Basic network address translation	ترجمة أَساسيَّة لِعُنوان شَبكة
Battery	مُدَّخِرة
Behavioral requirements	مُتطَلَّبات سُلُوكيَّة
Bellman–Ford algorithm	خوارزميَّة بِيلمان وفُورد
Benchmarking	أَساس تقييم الأَداء
Bidirectional	ثُنائِي الاتِّجاه
Bidirectional mode	نمط ثُنائِي الاتِّجاه
Bidirectional network address translation	تَّرجمة ثُنائِيَّة الاتِّجاه لِعُنوان شَبكة
Binary numeral system	نِظام عَدّ ثُنائِيّ
Bit	بت
Bit rate	مُعدَّل نقل
Block message	رِسالة مُجمَّعة
Bogus address configuration prefix	هُجُوم بادِئة تهيئَة العناوين الوهميَّة
Bogus on-link prefix attack	هُجُوم البادِئات المَحلِّيَّة الوهميَّة
Bomb attack	هُجُوم انفجاريّ
Border gateway protocol	برُوتُوكُول البوَّابة الحدوديَّة
Broadcast	بثّ عامّ
Broadcast address	عُنوان بثّ عامّ
Byte	بَايت

C

Cache memory	ذاكِرة مِخبَئِيَّة
Catenet	كَاتِينِت، الشَّبكة المُتسلسِلة
Certificate profile	شهادة اعتماد
Certification path	شهادة اعتمادٍ لِلمَسار
Channel	قناة
Checksum	تحقُّق جمعيّ
Cisco group management protocol	برُوتُوكُول سِيسكُو لإِدارة المَجمُوعة
Cisco Systems, Inc.	شركة أَنظمة سِيسكُو
Circuit switching	تَبديل دارات

Class	صَنف
Classful	صَنفيّ
Classful addressing	عَنونة صَنفيَّة
Classful routing protocol	بروتُوكُول توجيه صَنفيّ
Classless	غير صَنفيّ
Classless addressing	عَنونة غير صَنفيَّة
Classless Inter-domain routing	التَّوجيه غير الصَّنفي بين النِّطاقات
Classless routing protocol	بروتُوكُول توجيه غير صَنفيّ
Class selector behavior	سُلوك اختيار الصَّنف
Client-Server model	نَمُوذج طَلب خِدمة
Cluster	عُنقُود
Code	رمز
Commercial internet protocol security option	خِيار الأَمن التِّجاريّ
Complier	مُحوِّل برمجيّ
Computing	حَوسَبة
Computer	حاسُوب
COMSAT laboratories	مُختبَرات كُومسَات
Content	مُحتوَى
Confidentiality	سريَّة
Congestion	ازدحام
Congestion control	تحكُّم بالازدحام
Connection	اتِّصال
Connectionless	اتِّصال غير مُهيَّأ
Connection-oriented	اتِّصال مُهيَّأ
Copy flag	عَلَم النَّسخ
Core-assisted mesh protocol	بروتُوكُول الشَّبكة المُتشابِكة المركزيَّة
Core-based tree	شَجرة مَركزيَّة النَّواة
Core-based tree protocol	بروتُوكُول الشَّجرة مَركزيَّة النَّواة
Cross-layer interaction	تفاعُل عابِرُ لِلطَّبقات
Cryptographically generated addresses	عناوين مُولَّدة بالتَّعمية
Customer	عميل
Cyclades	سِيكلَاد

D

Data	بيانات
Data network	شَبكة بيانات
Datagram	حِزمة بيانات
Datagram congestion control protocol	بروتُوكُول التَّحكُّم بازدحام حزم البيانات
Datagram conversion error message	رِسالة خطأ في تحويل حزمة البيانات
Decapsulation	فكُّ تغلِيف
Decimal	عَشريّ
Decimal numeral system	نِظام عَدّ عَشريّ
Default forwarding behavior	سُلوك الإرسال الافتراضيّ
Default gateway	بَوَّابة افتراضيَّة
Default router is killed attack	هُجُوم إلغاء المُوجِّه الافتراضيّ

Defence advanced research projects agency	وَكالة مَشاريع البُحوث الدِّفاعيَّة المُتقدِّمة
Delay	تأخير
Delay first probe time	زمن تأخير الاستشعار الأَوَّل
Demultiplexer	مُفكِّك تنضيد
Demultiplexing	فكُّ تنضِيد
Denial of service	هُجوم حَجب خِدمة
Dense mode	نمط كثيف
Department of defense	وِزارة الدِّفاع
Department of defense basic security option	خِيار الأَمن الرَّئيس
Department of defense extended security option	خِيار الأَمن المُوسَّع
Depletion	نُضُوب
Destination	وِجهة
Destination options header	ترويسة خِيارات الوِجهة
Destination unreachable message	رِسالة تَعذُّر بلوغ الوِجهة
Differentiated services	خِدمات مُتمايزة
Differentiated services codepoint	ترميز خِدمات مُتمايزة
Differentiated services domain	نِطاق خِدمات مُتمايزة
Digit	رَقم
Digital	رَقميّ
Dijkstra's algorithm	خوارزميَّة دِيكسترا
Discard prefix	بادِئة استبعاد
Discovery	اكتشاف
Distance vector	شُعاع المَسافة
Distance vector multicast routing protocol	بِرُوتُوكُول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيِّ تَبعاً لِشُعاع المَسافة
Do not fragment flag	عَلَم عدم التَّقطيع
Domain	نِطاق
Domain name reply message	رِسالة الرَّدُّ على طَلب اسم نِطاق
Domain name request message	رِسالة طَلب اسم نِطاق
Domain name system	نِظام تسمية النِّطاقات
Domain name system server	مُخدِّم نِظام تسمية النِّطاقات
Dotted-decimal notation	تدوين عِشريّ مُنقَّط
Downstream	تيَّار هابِط
Dual-stack lite	تقنية المُكدِّس المُزدَوج المُبسَّطة
Duplex	ازدواج، ازدواجيَّة
Duplicate address confirmation message	رِسالة تأكيد تطابُق العُنوان
Duplicate address detection	تحديد الاستعمال المُتكرِّر لِلعُنوان
Duplicate address request message	رِسالة طَلب التَّحقُّق مِن تطابُق العُنوان
Dynamic addressing	عَنونة آليَّة
Dynamic configuration	تهيئَة آليَّة
Dynamic host configuration protocol	بِرُوتُوكُول تهيئَة المُضيف الآليَّة
Dynamic host configuration protocol relay agent and server	مُخدِّم ووكيل تحويل بِرُوتُوكُول تهيئة المُضيف الآليَّة
Dynamic network address translation	ترجمة مُتغيِّرة لِعُنوان شَبكة
Dynamic programming	برمجة حركيَّة

E

Echo message	رِسالة توليد صدَىً
Echo replay message	رِسالة صدَىً
Edge	وَصلة
Egress policy	سِياسة خروج
Encapsulating security payload	تأمين الحُمُولة بالتَّغليف
Encapsulating security payload header	ترويسة تأمين الحُمُولة بالتَّغليف
Encapsulation	تغلِيف
End-to-end	بين الطَّرفيَّات
End-to-end control model	نَمُوذَج التَّحكم بين الطَّرفيَّات
End-to-end principle	مَبدَأ الطَّرفين
End of option list option	نِهاية قائِمة الخِيارات
Enhanced interior gateway routing protocol	برُوتُوكُول التَّوجيه الدَّاخِلي المُحسَّن بين البوَّابات
Entity	كِيان
Error message	رِسالة إبلاغ عن خطأٍ
Ethernet	إيثرنت
Euclidean Steiner tree problem	مسألة شَجرة شتَاينر الإقليديَّة
Exhaustion	استنفاد
Exhaustion phase	طَور الاستنفاد
Existing phase	طَور الوِفرة
Expedited forwarding behavior	سُلوك الإرسال المُعجَّل
Explicit congestion notification	تنبيه صريح لِلازدحام
Extended	مُوسَّع
Extended echo reply message	رِسالة صدَىً مُوسَّعة
Extended echo request message	رِسالة توليد صدَىً مُوسَّعة
Extended unique identifier	مُعرِّف فريد مُوسَّع
External realm	نِطاق خارِجيٌّ

F

Fiber distributed data interface	الوَاجِهة البينيَّة للبيانات المُوزَّعة بالألياف
Field	حَقل
File transfer protocol	برُتُوكُول نقل المِلفَّات
Filtering	ترشيح
Finish flag	عَلَم النِّهاية
Firewall	جدار حماية
First complement	مُتمِّم أوَّل
Flag	عَلَم
Flag day	يوم العَلَم
Flat	وحيد المُستوَى
Floating point	فاصِلة مُتحرِّكة
Flood	غَمر
Flood attack	هُجُوم غَمر
Flooding denial-of-service	حَجب خِدمة بالغمر
Flow control	تحكُّم بالتدفُّق
Flow label	لافِتة تدفُّق
Frame	إطار

Frame relay	تبديل أطر
Fragment	قِطعة
Fragment header	ترويسة قِطعة
Fragmentation	تَقطِيع
Fragment offset	إزاحة قِطعة
Fixed network	شَبكة ثابِتة البِنية
Fully qualified domain name	اسم نِطاق مُؤَهَّل مُكتمِل

G

Gateway	بوَّابة
Global identifier	مُعرِّف عالَميّ
Global routing system	نِظام توجيه عالَميّ
Global unicast address	عُنوان البثّ فريد الوِجهة العالَميّ
Global unicast prefix	بادِئة توجيه عالَميَّة
Graph	بَيان
Graph theory	نظريَّة البَيان
Group	مَجمُوعة
Group address	عُنوان المَجمُوعة
Group identifier	مُعرِّف المَجمُوعة
Group management protocol	برُوتُوكُول إدارة المَجمُوعة
Global realm	نِطاق عالَميّ

H

Header	ترويسة
Header checksum	تحقُّق جمعيّ لِلتَّروِيسة
Header length	طُول تروِيسة
Hexadecimal numeral system	نِظام عَدّ سِتة عَشريّ
Hierarchical quality of service multicast routing protocol	برُوتُوكول توجيه البثِّ المَجمُوعاتيّ الهرميّ المُدرِك لِجُودة الخِدمة
Hierarchy	تراتُبِيّ، هرميّ
Home agent address discovery reply message	رِسالة ردٌّ على طَلب اكتشاف عُنوان وكيل المَنزِل
Home agent address discovery request message	رِسالة طَلب اكتشاف عُنوان وكيل المَنزِل
Hop	قفزة
Hop-by-hop	في أثناء عبور مَسار
Hop-by-hop options header	ترويسة خِيارات مَسار
Host	مُضيف
Host identifier	مُعرِّف مُضيف
Host identity protocol	برُوتُوكُول هويَّة المُضيف
Host unreachable	تَعذُّر بُلُوغ مُضيف
Housekeeping information	مَعلُومات إداريَّة
Hub	مُوزِّع
Hybrid	هجين

I

Identifier	مُعرِّف
implementation	تنفيذ
Incomplete	نَقص
Index	فَهرَس
Information	مَعلُومات
Informational message	رِسالة إعلام
Information disclosure	تسريب مَعلُومات
Information processing techniques office	مَكتب تِقنيَّات مُعالَجة المَعلُومات
Information reply message	رِسالة ردٌّ على طَلب مَعلُومات
Information request message	رِسالة طَلب مَعلُومات
Ingress policy	سِياسة دُخول
Input	مَدخَل، دَخل
Inside realm	نِطاق داخِليّ
Institute of Electrical and Electronics Engineers	مَعهَد مُهندِسي الكهرباء والإلكترونيَّات
Integrity	سَلامة
Inter-domain	بين نِطاقيّ
Interface	مَنفَذ
Interface identifier	مُعرِّف مَنفَذ
Intermediate node	عُقدَة وَسيطة
Intermediate system	نِظام وَسيط
Internet	إنترنِت
Internetwork	تَشبيك
Internetwork control block	مَجمُوعة عناوين التَّحكُّم بين الشَّبكيَّة
Internetwork protocol	بُروتُوكُول تشبيك
Internet assigned numbers authority	هَيئَة أرقام الإنترنت المُخصَّصَة
Internet clock service	خِدمة التَّوقيت في الإنترنِت
Internet control message protocol	بروتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت
Internet control message protocol for internet protocol version 4	بروتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت لِلإصدار الرَّابِع مِن بروتُوكُول الإنترنِت
Internet control message Protocol for internet protocol version 6	بروتُوكُول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت لِلإصدار السَّادِس مِن بروتُوكُول الإنترنِت
Internet corporation for assigned names and numbers	شركة الإنترنِت للأرقام والأسماء المُخصَّصَة
Internet engineering steering group	المَجمُوعة التَّوجيهيَّة لِهندسة الإنترنِت
Internet engineering task force	مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنت
Internet group management protocol	برُوتُوكول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت
Internet group management protocol snooping	مِيزة مُراقبة برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت
Internet key exchange protocol	برُوتُوكُول تبادُل مفاتيح الإنترنِت
Internet neutrality	حياد الإنترنِت
Internet protocol	برُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol address	عُنوان برُوتُوكُول إنترنِت
Internet protocol next generation	الجيل التَّالِي مِن برُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol router alert option	خِيار إنذار المُوجِّه باستعمال برُوتُوكُول الإنترنِت

Internet protocol security	حِزمة أَمن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol version 4	الإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol version 4 address space exhaustion	استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet-protocol-version-4-compatible unicast address	عُنوان بثّ فريد الوِجهة مُتوافِق مع الإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet-protocol-version-4-mapped unicast address	عُنوان بثّ فريد الوِجهة مُقترِن مع الإصدار الرَّابِع مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol version 4/ Internet protocol version 6 translator	مُترجِم عناوين بين الإصدارين الرَّابِع والسَّادِس مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol version 6	الإصدار السَّادِس مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol version 6 anycast address	عُنوان بثّ نحو الأَقرب في الإصدار السَّادِس مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol version 6 I-Am-Here message	رِسالة عُقدة الإصدار السَّادِس، أنا هُنا
Internet protocol version 6 stateless address autoconfiguration	تهيئَة العُنوان الذَّاتيَّة الآليَّة في الإصدار السَّادِس مِن بِرُوتُوكُول الإنترنِت
Internet protocol version 6 Where-Are-You message	رِسالة عُقدة الإصدار السَّادِس، أَين أَنت
Internet registry	سِجلّ إنترنِت
Internet service provider	مُزوِّد خِدمة إنترنِت
Internet stream protocol	بِرُوتُوكُول التَّدفُّق في الإنترنِت
Internet timestamp option	خِيار وَسمة زمنيَّة
Internet transparency	شفافية الإنترنِت
Intra-domain	مَحصُور ضِمن نِطاق
Inverse address resolution protocol	بِرُوتُوكُول ترجمة العناوين المَعكُوسة
Inverse neighbor discovery	اكتشاف مَعكُوس لِلجيران
Inverse neighbour discovery advertisement message	رِسالة الإعلان لِلاكتشاف المَعكُوس لِلجيران
Inverse neighbor discovery protocol	بِرُوتُوكُول الاكتشاف المَعكُوس لِلجيران
Inverse neighbour discovery solicitation message	رِسالة الالتِماس لِلاكتشاف المَعكُوس لِلجيران
Isolated	مَعزُول

J

Jitter	تَقلقُل الإرسال
Jumbogram	رِزمة عِملاقة

K

Kruskal's algorithm	خوارزميَّة كرُوسْكَال

L

Latin America and Caribbean network information centre	مَركَز مَعلُومات الشَّبكة في أَمريكة اللَّاتينيَّة والكَاريبيّ
Layer	طَبَقة
Layer Two Tunneling Protocol	بِرُوتُوكُول الأَنفاق في الطَّبقة الثَّانِية
Lifetime	زمن حياة

Lightweight adaptive multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ مُتكيِّف خفيف
Link	وَصلة
Link-local unicast address	عُنوان بثّ فريد الوِجهة في وَصلة مَحلّيَّة
Link protocol	برُوتُوكُول طَبقة الوَصلة
Link-state advertisement	إعلان حالة وَصلة
Linux	لِينُكس
Local	مَحلّيّ
Local-area network	شَبكة مَحلّيَّة
Local bit	بت المَحلّيَّة
Local internet registry	سِجلّ إنترنِت مَحلّيّ
Local network control block	مَجمُوعة عناوين التَّحكُّم في الشَّبكة المحليَّة
Local realm	نِطاق مَحلّيّ
Logical addressing	عنونة برمجيَّة
Logical conjunction	عَطف مَنطقيّ
Long-term strategy	إستراتيجيَّة طويلة الأَمد
Loop	حَلقة
Loopback	حَلقة عكسيَّة
Loopback address	عُنوان حلقة عكسيَّة
Loopless	عديم حلقات
Loose source routing option	خِيار توجيه غير مُقيَّد بمَسار مَصدَر

M

Malicious last hop router attack	هُجوم المَخرَج الافتراضيُّ الخبيث
Man-in-the-middle attack	هُجُوم الوسِيط
Managed address configuration flag	عَلَم وضع التَّهيئة
Many-to-many	مَصادِر عديدة ووِجهات عديدة
Mask	قِناع
Max unicast solicit	عَدَد مرَّات إرسال رِسالة الِالتماس فريدة الوِجهة
Maximum transmission unit	وَحدة نَقل عُظمَى
Maximum transmission unit option	خِيار وَحدة النَّقل العُظمَى
Media	أوساط
Media-conversion gateway	بوَّابة تغيير وَسط الاتِّصال
Medium	وَسط
Medium access control	عُنوان نفاذ لِلوسَط
Memory	ذاكِرة
Metric	وزن مَسار
Microsoft Windows	مَايكرُوسُوفت وِيندُوز
Mid-term solution	حلٌّ مُتوسِّط الأَمد
Minimum spanning Tree	شَجرة مُتفرِّعة صُغرَى
Mobile	مُتحرِّك
Mobile host	مُضيف مُتحرِّك
Mobile host redirect message	رِسالة إعادة توجيه مُضيف مُتحرِّك
Mobile internet protocol	برُوتُوكُول الإنترنِت المُتحرِّك
Mobile network	شَبكة مُتحرِّكة
Mobile prefix advertisement message	رِسالة إعلان عن بادِئة شَبكة لِلعُقدة المُتحرِّكة
Mobile prefix solicitation message	رِسالة اِلتماس عُقدة مُتحرِّكة لِبادِئة شَبكة

Mobile registration reply message	رِسالة ردٍّ على طلب تسجيل
Mobile registration request message	رِسالة طلب تسجيل
Mobility option	خِيار حركة
Module	وَحدة مِعياريَّة
More fragment flag	عَلَم المزيد مِن القِطع
Multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ
Multicast listener	مُستمِع بثّ مَجمُوعاتيّ
Multicast listener discovery	اكتشاف مُستمِعي بثّ مَجمُوعاتيّ
Multicast listener discovery protocol	برُوتُوكُول اكتشاف مُستمِعي البثّ المَجمُوعاتيّ
Multicast listener done	رِسالة إتمام
Multicast listener query message	رِسالة استعلام مُستمِعي بثّ مَجمُوعاتيّ
Multicast listener report message	تقرير مُستمِع بثّ مَجمُوعاتيّ
Multicast open shortest path first	توسِعة البثِ المَجمُوعاتيّ لِبرُوتُوكُول المَسار الأَقصر
Multicast power greedy clustering	برُوتُوكُول البثّ المَجمُوعاتيّ العُنقوديّ الشَّرِه لِلاستطاعة
Multicast routing protocol	برُوتُوكُول توجيه رِزم البثّ المَجمُوعاتيّ
Multicast routing domain	نِطاق التَّوجيه الخاصّ بالبثّ المَجمُوعاتيّ
Multicast source discovery protocol	برُوتُوكُول اكتشاف مَصدَر البثّ المَجمُوعاتيّ
Multicast tree	شجرة بثّ مَجمُوعاتيّ
Multi-homed	مُتعدد المواقِع
Multi-homed organization	مُنظَّمة مُتعدِّدة المواقِع
Multilayer switch	مُبدِّل عديد الطَّبقات
Multilevel subnetting	تجزئَة مُتعدِّدة المُستوَيات
Multiplexer	مُنضِّد
Multiplexing	تنضِيد
Multiprotocol border gateway protocol	برُوتُوكُول البوَّابة الحدوديَّة مُتعدِّدة البرُوتُوكُولات

N

Neighbor	جار
Neighbor advertisement message	رِسالة إعلان عن جار
Neighbor discovery denial of service attack	هُجوم حَجب الخِدمة باستعمال آليَّة اكتشاف الجيران
Neighbor discovery protocol	برُوتُوكُول اكتشاف الجيران
Neighbor solicitation message	رِسالة اِلتماس الجار
Neighbor unreachability detection algorithm	خوارزميَّة تحديد إمكانيَّة بُلُوغ الجار
Network	شَبكة
Network address port translation	ترجمة عُنوان الشَّبكة وأَرقام المنافذ
Network address translation	ترجمة عُنوان الشَّبكة
Network address translation traversal	تخطِّي ترجمة عُنوان الشَّبكة
Network identifier	مُعرِّف فضاء
Network mask	قِناع فضاء
Network prefix	بادِئة فضاء
Network segment	قِطاع شَبكة
Network unreachable	تعذّر بُلُوغ شَبكة
No operation option	خِيار لا عمليَّة
Node	عُقدة
Node information query message	رِسالة استعلام مَعلُومات عُقدة
Node information response message	رِسالة ردّ على استعلام مَعلُومات عُقدة

Node leaf	عُقدَة ورقة
Nonce	ظرفيّ
Normal close	إنهاء طَبيعيّ
Null prefix	بادِئة ذات قِيمة غير ذات أهمِّيَّة
Number	عَدَد
Number resource organization	مُنظَّمة المَوارد الرَّقميَّة
Numeral system	نِظام عَدّ

O

Octet	خانة
On-demand multicast routing protocol	برُوتُوكُول توجيه البثّ المَجمُوعاتيّ تَبعَاً لِلطَّلب
On-link flag	عَلَم وَصلة المَحلِّيَّة
One-to-all	مَصدر وحيد وكُلّ الوِجهات المُمكِنة
One-to-many	مَصدَر وحيد ووِجهات عديدة
One-to-one	مَصدَر وحيد ووِجهة وحيدة
	واحِد في مُقابِل واحِد
Onion skin model	نَمُوذَج قِشرة البَصَلة
Open shortest path first	برُوتُوكُول المَسار الأقصر
Open system interconnection	ربط بينيّ لِلأنظمة المَفتُوحة
Operating system	نِظام تشغيل
Option	خِيار
Option class	صَنف خِيار
Option type	نَوع خِيار
Organizationally unique identifier	مُعرِّف مُنظَّمة فريد
Other configuration flag	عَلَم تهيئَة إضافيَّة
Output	مَخرج، خَرج
Outside realm	نِطاق خارِجيّ
Overlap	تراكُب
Overlapping fragment attack	هُجوم القِطع المُتراكِبة
Overlapping network address translation	ترجمة عناوين الشَّبكات المُتراكِبة
Overlay routable cryptographic hash identifier	مُعرِّف تجزِئة مُعمَّاة مُتراكِبة قابِل لِلتَّوجيه، أُوركيد
Overloading	تحميل زائِد
Override flag	عَلَم تخطِّي

P

Packet	رِزمة
Packet switching	تَبديل رِزم
Packet too big message	رِسالة رِزمة مِفرطة في الطُّول
Pad1 option	خِيار حَشو بايت واحِد
Padding	حَشو
PadN option	خِيار حَشو N بايت
Parameter	مُحدِّد
Parameter problem message	رِسالة مُشكِلة في مُحدِّد
Parameter spoofing attack	هُجُوم انتحال مُحدَّد
Payload	حُمُولة

Per-hop behavior	سُلوك خاصّ بكُلّ قَفزة
Ping	أمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال
Ping of death attack	هُجُوم أمر التَّحقُّق مِن الاتِّصال المُميتُ
Pointer	مُؤَشِّر
Point-to-Point Protocol	برُوتُوكُول الوَصل بين نُقطتين
Port	مَنفَذ
Port address translation overloading	تحميل زائِد لِترجمة رقم مَنفَذ
Port control protocol	برُوتُوكُول التَّحكُّم بالمنافِذ
Port number	رقم مَنفَذ
Port unreachable	تعذُّر بُلُوغ مَنفَذ
Position	مَرتَبة
Positional notation	تدوين ذو مَراتِب
Precedence	أحقيَّة
Preferred Lifetime	زمن حياة مُفضَّل
Prefix	بادِئة
Prefix flag	عَلَم بادِئة
Prefix information option	خِيار مَعلُومات بادِئة
Prefix length	طُول بادِئة
Prefix notation	تدوين بادِئة
Prim's algorithm	خوارزميَّة پريم
Privacy	خصوصيَّة
Private	خاصّ
Private address	عُنوان خاصّ
Private address space	فضاء عَناوين خاصّ
Private realm	نِطاق خاصّ
Proactive	استباقيّ
Probe	استشعار
Probe maximum transmission unit option	خِيار استشعار وَحدة نقل عُظمَى
Process	عمليَّة
Protocol	برُوتُوكُول
Protocol data unit	وحدة بيانات برُوتُوكُول
Protocol-independent multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ مُستقِلّ عن برُوتُوكُول التَّوجيه
Protocol unreachable	تعذُّر بُلُوغ برُوتُوكُول
Public	عامّ
Public realm	نِطاق عامّ
Public switched telephone network	شَبكة هاتِف عامَّة

Q

Quality of service	جُودة خِدمة
Quartet	رُباعيَّة
Query	استعلام
Query message	رِسالة استعلام
Quick-start option	خِيار بِداية سريعة

R

Radix	أساس نِظام عَدّ

Reachability	إمكانيَّة بُلُوغ جار
Reachable	يُمكِن بُلُوغه
Reachable time	زمن بُلُوغ جار
Realm	نِطاق
Reassembly	إعادة تجمِيع
Record route option	خِيار مَسار مُسجَّل
Recording of route	تسجيل مَسار
Redirect	إعادة توجيه
Redirect attack	هُجُوم إعادة توجيه
Redirect header option	خِيار ترويسة إعادة توجيه
Redirect message	رِسالة إعادة توجيه
Regional internet registry	سِجلّ إنترنِت إقليميّ
Registry	سِجلّ
Reliability	مَوثُوقيَّة
Rendez-vous point	نُقطة التقاء
Rendez-vous point flag	عَلَم التقاء
Renumbering	إعادة عنونة
Reply	ردّ
Reply attack	هُجوم مُعتمِد على رسائِل ردّ
Reply maximum transmission unit option	خِيار ردّ على استشعار وَحدة نقل عُظمَى
Request for comments	وثائِق طلب التَّعلِيقات
Réseaux IP européens network information centre	مَركَز مَعلُومات الإنترنِت الأُوروبيّ
Reserved bits	بتات مَحجُوزة
Resource Public Key Infrastructure	بِنية تحتيَّة لِلمِفتاح العامّ لِلمَوارِد
Reset	إعادة ضَبط
Reset flag	عَلَم إعادة ضَبط
Retransmission timer	مُؤَقِّت إعادة إرسال
Reverse address resolution protocol	برُوتُوكُول اقتران العناوين العكسيّ
Reverse path forwarding	التَّوجيه بعكس المَسار
Root node	عُقدَة جذر
Route	مَسار
Route aggregation	تجميع مَسارات
Route summarization	اختزال مَسارات
Router	مُوجِّه
Router advertisement message	رِسالة إعلان مُوجِّه
Router flag	عَلَم مُوجِّه
Router lifetime	زمن حياة مُوجِّه
Router-port group management protocol	برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة مَنفَذ مُوجِّه
Router renumbering message	رِسالة إعادة عنونة مُوجِّه
Router solicitation message	رِسالة التِماس مُوجِّه
Router spoofing attack	هُجُوم بانتحال مُوجِّه
Routing	توجيه
Routing decision	قرار توجيه
Routing header	ترويسة توجيه
Routing information protocol	برُوتُوكول مَعلُومات توجيه

Routing protocol	برُوتُوكول توجيه
Routing table	جَدوَل توجيه

S

Satellite	قمر صِناعيّ
Scope	مَجال
Scoped multicast ranges	مَجمُوعة العناوين المُراقَبِة إشرافيّاً
Security	أمن
Secure neighbor discovery protocol	برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الآمن
Security associations	تنظيمات أَمن
Segment	قِطعة
Sender	مُرسِل
Sender directed multi-destination delivery option	خِيار توصيل مُتعدِد الوِجهات مُدار بواسطة مُرسِل
Sequence diagram	مُخطَّط تَتَابُع
Sequence number	رَقم تَتَابُع
Service	خِدمَة
Service access point	نُقطة نفاذ لِخِدمة
Service data unit	وحدة بيانات خِدمة
Service provider	مُزوِّد خِدمة
Session	جلسة
Session announcement protocol	برُوتُوكُول إعلان عن جلسة
Session directory announcement protocol	برُوتُوكُول الإعلان عن دليل جلسة
Session layer	طَبقة الجلسة
Session traversal utilities for network address translation	خِدمات تخطّي جلسة ترجمة عُنوان شَبكة
Shared address space	فضاء عناوين مُشترَك
Shared tree	شَجرة مُشترَكة
Shortest-spanning tree	شَجرة تفرّعات قُصرَى
Short-term strategy	إستراتيجيَّة قصيرة الأَمد
Signaling message	رِسالة تَأشير
Simple key-management for internet protocol	إدارة المَفاتيح البسيطة لِبرُوتُوكُول الإنترنِت
Simple mail transfer protocol	برُوتُوكُول نقل البريد البسيط
Simultaneous close	إنهاء مُتزامِن
Simultaneous initiation	استهلال مُتزامِن
Single-level subnetting	تجزِئَة وحيدة المُستوَى
Site-local unicast address	عُنوان بثّ فريد الوِجهة المَحلّيّة في المَوقِع
Smurf attack	هُجُوم السَّنافِر
Spoofed redirect message attack	هُجُوم انتحال رسائِل إعادة توجيه
Spoofing attack	هُجُوم بانتحال
Socket	مِقبَس اتِّصال
Solicited flag	علم التماس
Solicited-node address	عُنوان عُقدة مُلتمَسة
Sonar	سُونَار
Source	مَصدَر

Source-based tree	شَجرة مبنية تَبعَاً لِلمَصدَر
Source link-layer address option	خِيار عُنوان طَبقة الوصلة لِمَصدَر الرِّسالة
Source quench message	رِسالة تهدِئة مَصدَر
Source routing	توجيه تبعاً لِمَصدَر
Source-specific multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ مُحدَّد المَصدَر
Source-specific multicast block	مَجمُوعة عناوين بثّ مَجمُوعاتيّ مُحدَّد المَصدَر
Spanning tree	شَجرة مُتفرِّعة
Spare mode	نمط مُتناثِر
Specific-source multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ مُحدَّد المَصدَر
Stale	تَقادُم
Stateless	غير مركزيَّة
Stateless address autoconfiguration	تهيئَة عُنوان ذاتيَّة آليَّة
Static network address translation	ترجمة ثابِتة لِعُنوان شَبكة
Steiner tree	شَجرة شتَّاينر
Strategy	إستراتيجيَّة
Stream	تدفُّق
Stream control transmission protocol	بروتوكول التَّحكُّم بتدفُّق النَّقل
Stream identifier option	خِيار مُعرِّف التّدفُّق
Strict source routing option	خِيار توجيه مُقيَّد بمَسار مَصدَر
Sub-local internet registry	سِجلّ إنترنِت مَحلِّيّ فَرعيّ
Subnet	فضاء جُزئِيّ
Subnetting	تجزئَة فضاء عَناوين
Subnet identifier	مُعرِّف فضاء جُزئِيّ
Subsystem	نِظام فَرعيّ
Summarization	اختزال
Supernetting	تجميع أَفضية
Switch	مُبدِّل
Switching	تَبدِيل
Synchronization flag	عَلَم مُزامَنة

T

Target	هدف
Target address	عُنوان هدف
Target link-layer address option	خِيار عُنوان طَبقة الوَصلة لِهدف الرِّسالة
Teredo	تِيريدُو
Terminal	طَرفيَّة
Test transport control protocol	اختبار بروتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل
Theft of service	سرقة خِدمة
Three-way handshaking	مُصافحة ثُلاثيَّة المراحل، مُصافَحة ثلاثيَّة
Throughput	مُعدَّل إنتاجيَّة
Time	زمن
Time exceeded message	رِسالة نفاد زمن
Time to live	زَمن حياة
Timestamp	وَسمة زمنيَّة
Timestamp message	رِسالة طَلب وَسمة زمنيَّة
Timestamp reply message	رِسالة ردّ على طَلب وَسمة زمنيَّة

Tiny fragment attack	هُجوم القِطعة الصَّغيرة
Token Ring	برُوتُوكُول حلقة الرَّمز
Total length	طُول إجماليّ
Traceroute	تَتَبُّع مَسار
Traceroute message	رِسالة تَتَبُّع مَسار
Traceroute using an internet protocol option	خِيار تَتَبُّع مَسار باستعمال برُوتُوكُول الإنترنِت
Traditional network address translation	ترجمة تقليديَّة لِعُنوان شَبكة
Traffic class	صَنف حركة البيانات
Transient flag	عَلَم ديمُومة
Transmission control program	برنامج التَّحكُّم بالنَّقل
Transmission control protocol	برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل
Transparent routing	توجيه غير مَرئِيّ
Transport protocol	برُوتُوكُول نقل
Traversal using relays around network address translation	تخطِّي ترجمة عُنوان شَبكة باستعمال المُرحِّلات
Tree	شَجرة
Truth table	جَدول حقيقة
Twice network address translation	ترجمة مُضاعَفة لِعُنوان شَبكة
Two-way network address translation	تَّرجمة ثُنائِيَّة الاتِّجاه لِعُنوان شَبكة
Type	نوع
Type of Service	نوع خِدمة

U

Undirected weighted graph	بَيان غير مُوجَّه مَوزُون الوَصلات
Unicast	بثّ فريد الوِجهة
Unified modeling language	لُغة النَّمذجَة المُوحَّدة
Universal time	التَّوقيت العالميّ
Unique	فريد
Unique local internet protocol version 6 unicast address	عُنوان بثّ فريد الوِجهة المَحلِّيَّة
Uniqueness	تفرُّد
Unknown	غير مَعرُوف
Unspecified address	عُنوان غير مُحدَّد
Upstream	تيَّار صاعِد
Upstream multicast packet option	خِيار رزم تيَّار صاعِد في البثّ المَجمُوعاتيّ
User	مُستخدِم
User datagram protocol	برُوتُوكُول حِزم بيانات المُستخدِم

V

Valid Lifetime	زمن حياة صالِح
Variable length subnet mask	أقنعة أَقضية الجُزئِيَّة مُختلِفة الأَطُوال
Version	إصدار
Vertex	رَأس
Violation	انتهاك
Virtual channel	قناة افتراضيَّة
Visa option	خِيار التَّحكُّم بالوصُول التَّجريبيّ

W

Wide-area network	شَبكة مُتباعِدة
WiFi	وَاي فَاي

Z

Zone	مِنطَقة

ثانياً: مَسرَد الاختصارات

A

AF	Assured Forwarding	إرسال مُؤَمَّن
AfriNIC	African Network Information Centre	مَركز مَعلُومات الشَّبكة الإفريقِيّ
AGL	Application-Level Gateway	البوَّابة عند مُستوَى التَّطبيق
AH	Authentication Headers	برُوتُوكُول تروِيسات التَّحقُّق مِن الهوية
ANSI	American National Standards Institute	المَعهد الأَمريكِيّ لِلمعايير الوطنيَّة
APNIC	Asia-Pacific Network Information Centre	مَركز مَعلُومات الشَّبكة في آسية والمُحيط الهادِي
ARIN	American Registry for Internet Numbers	السِّجلّ الأَمريكِيّ لأَرقام الإنترنِت
ARP	Address Resolution Protocol	برُوتُوكُول اقتران العَناوين
ARPANET	Advanced Research Projects Agency Network،	شَبكة وَكالة مَشاريع البُحوث المُتقدِّمة، شَبكة أَربا
AS	Autonomous System	نِظام مُستقِلّ
AS112	Autonomous system 112	النِّظام المُستقِلّ رقم 112
ASCII	American Standard Code for Information Interchange	التَّرميز المِعياري الأَمريكِيّ لِتبادل المَعلُومات، آسكِي
ASM	Any-Source Multicast	البثّ المَجمُوعاتِيّ غير مُحدَّد المَصدَر

B

BGP	Border Gateway Protocol	برُوتُوكُول البوَّابة الحدوديَّة
BIDIR-PIM	Bi-directional Mode Protocol-Independent Multicast	برُوتُوكُول البثّ المَجمُوعاتِيّ المُستقِلّ - النَّمط ثُنائي الاتجاه

C

CAMP	Core-Assisted Mesh Protocol	برُوتُوكُول الشَّبكة المُتشابِكة المركزيَّة
Catenet	Concatenated network	الشَّبكة المُتسلسِلَة
CBT	Core-Based Tree	شَجرة مَركزيَّة النَّواة
CCIT	Comité Consultatif International Téléphonique et Télégraphique	اللَّجنة الاستشاريَّة الدَّوليَّة لِلاتِّصال الصَّوتِيّ والبيانِيّ
CGA	Cryptographically Generated Addresses	عناوين مُولَّدة بالتَّعمية
CGMP	Cisco Group Management Protocol	برُوتُوكُول سِيسكُو لإدارة المَجمُوعة
CIDR	Classless Inter-Domain Routing	توجيه غير صَنفِيّ بين النِّطاقات
CS	Class Selector	اختيار صَنف

D

DAD	Duplicate Address Detection	تحديد الاستعمال المُتكرِّر لِلعُنوان

DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency	وَكالة مَشاريع البُحوث الدِّفاعيَّة المُتقدِّمة
DCCP	Datagram Congestion Control Protocol	بروتوكول التَّحكُّم بازدحام حزم البيانات
DF	Default Forwarding	إرسال افتراضيّ
	Do not Fragment	عدم تقطيع
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	بروتوكول تهيئَة المُضيف الآليَّة
DNS	Domain Name System	نِظام تسمية النِّطاقات
DoD	Department of Defense	وِزارة الدِّفاع
DoS	Denial of Service	هَجوم حَجب خِدمة
DSCP	Differentiated Services CodePoint	حَقل ترامِيز الخِدمات المُتمايزة
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol	بروتوكول توجيه البثّ المَجمُوعاتيّ تَبعَاً لِشُعاع المَسافة

E

ECN	Explicit Congestion Notification	تنبيه صريح لِلازدحام
EF	Expedited Forwarding	إرسال مُعجَّل
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol	بروتوكول التَّوجيه الدَّاخِليّ المُحسَّن بين البوَّابات
ESP	Encapsulating Security Payload	بروتوكول تأمين الحُمُولة بالتَّغليف
EUI	Extended Unique Identifier	مُعرِّف فريد مُوسَّع

F

FDDI	Fiber Distributed Data Interface	الوَاجِهة البينيَّة للبيانات المُوزَّعة بالألياف
FQDN	Fully Qualified Domain Name	اسم النِّطاق المُؤَهَّل المُكتمِل
FTP	File Transfer Protocol	بروتوكول نقل المِلفَّات

H

HID	Host identifier	مُعرِّف مُضيف
HIP	Host Identity Protocol	بروتوكول هويَّة المُضيف
HQMRP	Hierarchical Quality of Service Multicast Routing Protocol	بروتوكول توجيه البثّ المَجمُوعاتيّ الهرميّ المُدرِك لِجُودة الخِدمة

I

IANA	Internet Assigned Numbers Authority	هَيئَة أرقام الإنترنِت المُخصَّصَة
ICANN	Internet Corporation for Assigned Names and Numbers	شركة الإنترنِت للأرقام والأسماء المُخصَّصَة
ICMP	Internet Control Message Protocol	بروتوكول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت
ICMPv4	Internet Control Message Protocol for Internet Protocol version 4	بروتوكول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت لِلإصدار الرَّابِع مِن بروتوكول الإنترنت
ICMPv6	Internet Control Message Protocol for Internet Protocol version 6	بروتوكول رسائِل التَّحكُّم في الإنترنِت لِلإصدار السَّادِس مِن بروتوكول الإنترنِت
ICS	Internet Clock Service	خِدمة التَّوقيت في الإنترنِت
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	مَعهَد مُهندِسي الكهرباء والإلكترونيَّات
IESG	Internet Engineering Steering Group	المَجمُوعة التَّوجيهيَّة لِهندسة الإنترنِت
IETF	Internet Engineering Task Force	مَجمُوعة مُهندِسي الإنترنِت
IGMP	Internet Group Management Protocol	بروتوكول إدارة مَجمُوعة الإنترنِت

IKE	Internet Key Exchange	تبادل مفاتيح الإنترنِت
InARP	Inverse Address Resolution Protocol	برُوتُوكول ترجمة العَناوين المَعكُوسة
IND	Inverse Neighbor Discovery	اكتشاف مَعكُوس لِلجار
IPng	Internet Protocol Next Generation	الجيل التَّالِي مِن برُوتُوكُول الإنترنِت
IPsec	Internet Protocol Security	حِزمة أَمن برُوتُوكُول الإنترنِت
IPTO	Information Processing Techniques office	مَكتب تِقنيَّات مُعالَجة المَعلُومات
IPv4	Internet Protocol version 4	الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت
IPv6	Internet Protocol version 6	الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت
ISO	International Organization for Standardization	المُنظَّمة الدَّوليَّة للمَعايير
ISP	Internet Service Provider	مُزوِّد خدمة إنترنِت
ITU	International Telecommunication Union	الاتحاد الدَّوليّ للاتصالات

L

L2TP	Layer Two Tunneling Protocol	برُوتُوكُول الأَنفاق فِي الطَّبقة الثَّانِية
LACNIC	Latin America and Caribbean Network Information Centre	مَركَز مَعلُومات الشَّبكة فِي أَمريكة اللَّاتينيَّة والكَارِيبِيّ
LAM	Lightweight Adaptive Multicast	بثّ مَجمُوعاتِيّ مُتكيِّف خفيّ
LIR	Local Internet Registry	سِجلّ إنترنِت المَحليّ
LSA	Link-State Advertisement	إعلان حالة وَصلة

M

MAC	Medium Access Control	عُنوان نفاذ لِلوسَط
MBGP	Multiprotocol Border Gateway Protocol	برُوتُوكُول البوَّابة الحدوديَّة مُتعدِّدة البرُوتُوكُولات
MF	More Fragment	مزيد مِن القِطع
MLD	Multicast Listener Discovery	اكتشاف مُستمعِي بثّ مَجمُوعاتِيّ
MOSPF	Multicast Open Shortest Path First	توسِعة البثّ المَجمُوعاتِيّ لِبرُوتُوكُول المَسار الأَقصر
MPGC	Multicast Power Greedy Clustering	برُوتُوكُول البثّ المَجمُوعاتِيّ العُنقوديّ الشَّره لِلاستطاعة
MSB	Most Significant Bit	البت الأَكثر أَهمِّيَّة
MSDP	Multicast Source Discovery Protocol	برُوتُوكُول اكتشاف مَصدَر البثّ المَجمُوعاتِيّ
MST	Minimum Spanning Tree	شجرة مُتفرعة صُغرَى
MTU	Maximum Transmission Unit	وَحدة نقل عُظمَى

N

NAPT	Network Address Port translation	ترجمة عُنوان شَبكة ورقم مَنفَذ
NAT	Network Address Translation	ترجمة عُنوان شَبكة
NDP	Neighbor Discovery Protocol	برُوتُوكُول اكتشاف الجيران
NID	Network IDentifier	مُعرِّف شَبكة
NRO	Number Resource Organization	مُنظَّمة المَوارد الرَّقميَّة
NUD	Neighbor Unreachability Detection	تحديد إمكانيَّة بُلُوغ جار

O

ODMRP	On-Demand Multicast Routing Protocol	برُوتُوكُول توجيه بثّ مَجمُوعاتيّ تَبعاً لِلطَّلب
ORCHID	Overlay Routable Cryptographic Hash Identifier	مُعرِّف تجزِئة مُعمَّاة مُتراكِبة قابِل لِلتَّوجيه، أُوركِيد
OSI	Open System Interconnection	ربط بينيّ لِلأَنظمة المَفتُوحة
OSPF	Open Shortest Path First	برُوتُوكُول المَسار الأَقصر
OUI	Organizationally Unique Identifier	مُعرِّف مُنظَّمة فريد

P

PCP	Port Control Protocol	برُوتُوكُول التَّحكُّم بالمنافِذ
PDU	Protocol Data Unit	وَحدة بيانات البرُوتُوكُول
PHB	Per-Hop Behavior	سُلُوك خاصّ بكلّ قَفزة
PIM	Protocol-Independent Multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ مُستقِلّ عن برُوتُوكُول التَّوجيه
PIM-DM	Protocol-Independent Multicast Dense Mode	برُوتُوكُول البثّ المَجمُوعاتيّ المُستقِلّ - النَّمط الكثيف
PIM-SM	Protocol-Independent Multicast Sparse Mode	برُوتُوكُول البثّ المَجمُوعاتيّ المُستقِلّ - النَّمط المُتناثِر
PPP	Point-to-Point Protocol	برُوتُوكُول الوَصل بين نُقطتين
PSTN	Public Switched Telephone Network	شَبكة هاتِف عامَّة

R

RARP	Reverse Address Resolution Protocol	برُوتُوكُول اقتران العَناوين العكسيّ
RFC	Request for comments	وثائِق طَلب التَّعلِيقات
RGMP	Router-port Group Management Protocol	برُوتُوكُول إدارة مَجمُوعة مَنفَذ المُوجِّه
RIP	Routing Information Protocol	برُوتُوكُول مَعلُومات التَّوجيه
RIPv1	Routing Information Protocol version 1	الإِصدار الأَوَّل مِن برُوتُوكُول مَعلُومات التَّوجيه
RIPE NCC	Réseaux IP Européens Network Information Centre	مَركَز مَعلُومات الإنترنِت الأُوروبيّ
RIR	Regional Internet Registry	سِجلّ إنترنِت إقليميّ
ROAD	Routing and addressing.	التَّوجيه والعنونة
RPF	Reverse Path Forwarding	توجيه بعكس المَسار
RPKI	Resource Public Key Infrastructure	بِنية تحتيَّة لِلمِفتاح العامّ لِلمَوارِد
RSA	Rivest-Shamir-Adleman	رِيفِست وشَامِير وأَدِلمَان

S

SA	Security Association	تنظيم الأَمن
SAP	Service Access Point	نقطة نفاذ لِلخِدمة
	Session Announcement Protocol	برُوتُوكُول الإعلان عن الجلسة
SCTP	Stream Control Transmission Protocol	برُوتُوكُول التَّحكُّم بتدفُّق النَّقل
SDP	Session Directory announcement Protocol	برُوتُوكُول الإعلان عن دليل الجلسة
SDU	Service Data Unit	وَحدة بيانات خِدمة
SEND	SEcure Neighbor Discovery protocol	برُوتُوكُول اكتشاف الجيران الآمن
SID	Subnet identifier	مُعرِّف فضاء جُزئِيّ
SKIP	Simple Key-management for Internet Protocol	إدارة مَفاتيح بسيطة لِبرُوتُوكُول الإنترنِت

SLAAC	StateLess Address AutoConfiguration	تهيئَة عُنوان ذاتيَّة آليَّة
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol	برُوتُوكُول نقل البريد البسيط
SSM	Source-Specific Multicast	بثّ مَجمُوعاتيّ مُحدَّد المَصدَر
STUN	Session Traversal Utilities for Network address translation	خِدمة تخطِّي جلسة ترجمة عُنوان الشَّبكة

Q

QoS	Quality of Service	جُودة خِدمة

T

TCP	Transmission Control Program	بَرنامَج التَّحكُّم بالنَّقل
	Transmission Control Protocol	برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل
ToS	Type of Service	نوع خِدمة
TTCP	Test Transport Control Protocol	اختبار برُوتُوكُول التَّحكُّم بالنَّقل
TURN	Traversal Using Relays around Network address translation	تخطِّي ترجمة عُنوان شَبكة باستعمال المُرحِّلات

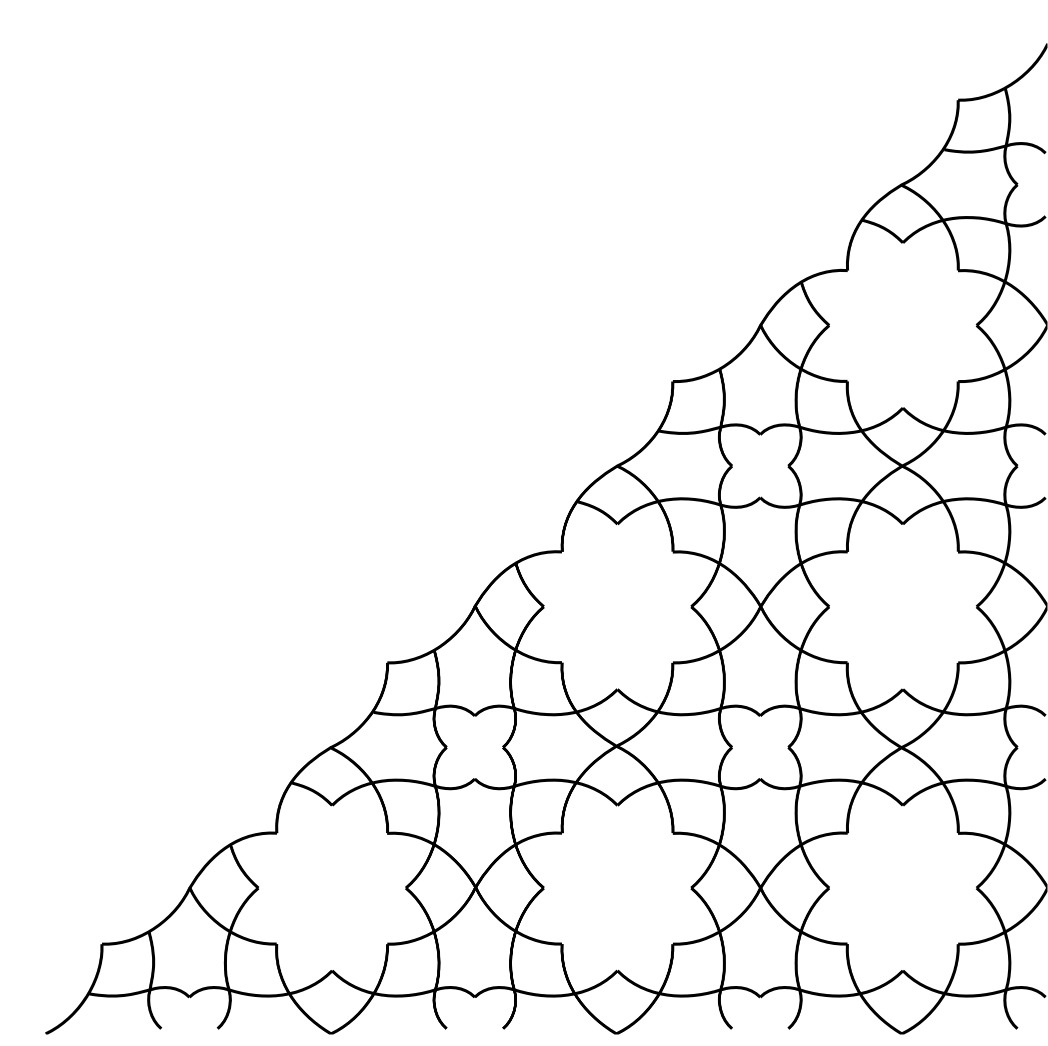
U

UDP	User Datagram Protocol	برُوتُوكُول حِزمة بيانات المُستخدِم
UML	Unified Modeling Language	لُغة النَّمذجَة المُوحَّدة
USC-ISI	University of Southern California Information Sciences Institute	مَعهد تقانة المَعلُومات في جامِعة كاليفورنية الجنوبيَّة
UT	Universal Time	التَّوقِيت العالميّ

V

VLSM	Variable Length Subnet Mask	أقنعة أفضية جُزئيَّة مُختلِفة الطُّول
VoIP	Voice over Internet Protocol	نقل الصُّوت باستعمال برُوتُوكُول الإنترنِت

المَراجِع



أَوّلاً: الأعمال المُراجعة مِن الأقران

مرتبةٌ وَفقاً لِورُودها في الكِتاب

[ART01] H. Zimmermann, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection", IEEE Transactions on Communications, vol. 28, no. 4, pp. 425–432, 1980, DOI: 10.1109/TCOM.1980.1094702

[ART02] P. Linington, "Fundamentals of the layer service definitions and protocol specifications", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1341-1345, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12776

[ART03] P. Bartoli, "The application layer of the reference model of open systems interconnection", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1404-1407, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12787

[ART04] L. Hollis, "OSI presentation layer activities", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1401-1403, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12786

[ART05] W. Emmons and A. Chandler, "OSI session layer: Services and protocols", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1397-1400, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12785

[ART06] S. Iren, P. Amer and P. Conrad, "The transport layer: tutorial and survey", ACM Computing Surveys, vol. 31, No. 4, 1999, pp. 360–404, DOI: 10.1145/344588.344609

[ART07] C. Ware, "The OSI network layer: Standards to cope with the real world", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1384-1387, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12782

[ART08] J. Conard, "Services and protocols of the data link layer", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1378-1383, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12781

[ART09] F. McClelland, "Services and protocols of the physical layer", Proceedings of the IEEE, vol. 71, no. 12, pp. 1372-1377, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12780

[ART10] J. Saltzer, D. Reed and D. Clark, "1984. End-to-end arguments in system design", ACM Transactions on Computer Systems, vol. 2, no. 4, pp. 277–288, 1984, DOI: 10.1145/357401.357402

[ART11] P. Baran, "On Distributed Communications Networks", IEEE Transactions on Communications Systems, vol. 12, no. 1, pp. 1-9, 1964, DOI: 10.1109/TCOM.1964.1088883

[ART12] L. Roberts, "The evolution of packet switching", Proceedings of the IEEE, vol. 66, no. 11, pp. 1307-1313, 1978, DOI: 10.1109/PROC.1978.11141

[ART13] D. Clark, "The design philosophy of the DARPA internet protocols", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 18, no. 4, pp. 106–114, 1988, DOI: 10.1145/52325.52336

[ART14] V. Cerf, R. Khan, "A protocol for packet Network Intercommunication", IEEE Transactions on communications, vol. 22, no. 5, pp. 637–648, 1974, DOI: 10.1109/TCOM.1974.1092259

[ART15] L. Pouzin, "Presentation and major design aspects of the CYCLADES computer network". 3rd ACM symposium on Data communications and Data networks: Analysis and design, pp. 87–80, 1973, DOI: 10.1145/800280.811034

[ART16] J. Postel, "Internetwork Protocol Approaches", IEEE Transactions on Communications, vol. 28, no. 4, pp. 604-611, 1980, DOI: 10.1109/TCOM.1980.1094705

[ART17] J. Postel, C. Sunshine and D. Cohen, "The ARPA internet protocol", Computer Networks, vol. 5, no. 4, pp. 261–271, 1981, DOI: 10.1016/0376-5075(81)90003-9

[ART18] R. Callon, "Internetwork protocol", Proceedings of the IEEE, no. 71, vol. 12, pp. 1388–1393, 1983, DOI: 10.1109/PROC.1983.12783

[ART19] C. Kent and J. Mogul, "Fragmentation considered harmful", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 25, no. 1, pp. 75-87, 1995, DOI: 10.1145/205447.205456

[ART20] T. Ptacek and T. Newsham,"Insertion, Evasion and Denial of Service: Eluding Network Intrusion Detection", Defense Technical Information Center, ADA391565, 1998

[ART21] A. McKenzie, "INWG and the Conception of the Internet: An Eyewitness Account", IEEE Annals of the History of Computing, vol. 33, no. 1, pp. 66-71, 2011, DOI: 10.1109/MAHC.2011.9

[ART22] R. White, "Working with IP Addresses", The Internet Protocol Journal, vol. 9, no. 1, pp. 24-34, 2006

[ART23] S. Deering, "Multicast Routing in a Datagram Internetwork", Doctoral thesis at Stanford University of California, 1991, Accession Number: ADA325909.

[ART24] R. Graham and P. Hell, "On the History of the Minimum Spanning Tree Problem", Annals of the History of Computing, vol. 7, no. 1, pp. 43-57, 1985, DOI: 10.1109/MAHC.1985.10011

[ART25] Z. Qing, M. Parsa and J. Garcia-Luna-Aceves, "A source-based algorithm for delay-constrained minimum-cost multicasting", Proceedings of INFOCOM'95, vol. 1, pp. 377-385, 1995, DOI: 10.1109/INFCOM.1995.515898

[ART26] C. Chiang, M. Gerla and L. Zhang, "Shared tree wireless network multicast", Proceedings of Sixth International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 28-33, 1997, DOI: 10.1109/ICCCN.1997.623287

[ART27] E. Dijkstra, "A note on two problems in connexion with graphs", Numerische Mathematik, vol.1, pp. 269–271, 1959, DOI: 10.1007/BF01386390

[ART28] R. Bellman, "On a routing problem", Quarterly of applied mathematics, vol. 16, no. 1, pp. 87-90, 1958, DOI: 10.1090/qam/102435

[ART29] R. Ford, "Network flow theory, RAND Corporation, 1956, p. 923

[ART30] J. Kruskal, "On the shortest spanning subtree of a graph and the traveling salesman problem", Proceedings of the American Mathematical society vol. 7, no. 1, pp. 48-50, 1956, DOI: 10.2307/2033241

[ART31] R. Prim, "Shortest connection networks and some generalizations", in The Bell System Technical Journal, vol. 36, no. 6, pp. 1389-1401, 1957, DOI: 10.1002/j.1538-7305.1957.tb01515.x

[ART32] P. Pragyansmita and S. Raghavan, "Survey of multicast routing algorithms and protocols", Proceedings of the 15th international conference on Computer communication (ICCC '02), pp.902–926, 2002

[ART33] L. Junhai, Y. Danxia, X. Liu and F. Mingyu, "A survey of multicast routing protocols for mobile Ad-Hoc networks", in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 78-91, First Quarter 2009, DOI: 10.1109/SURV.2009.090107.

[ART34] S. Deering, "Multicast routing in internetworks and extended LANs", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, vol. 18, no. 4, pp. 55–64, 1988, DOI: 10.1145/52325.52331

[ART35] S. Thyagarajan and S. Deering, "Hierarchical distance-vector multicast routing for the MBone", ACM SIGCOMM Computer Communication Review vol. 25, no. 4, pp. 60–66, 1995, DOI: 10.1145/217391.217411

[ART36] E. Royer and T. Chai-Keong, "A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks", IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 2, pp. 46-55, 1999, DOI: 10.1109/98.760423

[ART37] L. Junhai, Y. Danxia, X. Liu and F. Mingyu, "A survey of multicast routing protocols for mobile Ad-Hoc networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 78-91, First Quarter 2009, DOI: 10.1109/SURV.2009.090107

[ART38] Sung-Ju Lee, M. Gerla and Ching-Chuan Chiang, "On-demand multicast routing protocol", IEEE Wireless Communications and Networking Conference, vol. 3, pp. 1298-1302, 1999, DOI: 10.1109/WCNC.1999.796947

[ART39] J. Garcia-Luna-Aceves and E. Madruga, "The core-assisted mesh protocol", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 17, no. 8, pp. 1380-1394, 1999, DOI: 10.1109/49.779921

[ART40] L. Ji and M. S. Corson, "A lightweight adaptive multicast algorithm", IEEE GLOBECOM 1998, vol. 2, pp. 1036-1042, 1998, DOI: 10.1109/GLOCOM.1998.776885

[ART41] J. Leu, M. Tsai, T. Chiang and Y. Huang,"Adaptive power-aware clustering and multicasting protocol for mobile ad hoc networks", Proceedings of the Third international conference on Ubiquitous Intelligence and Computing (UIC'06), pp. 331–340, 2006, DOI: 10.1007/11833529_34

[ART42] L. Layuan and L. Chunlin, "A QoS multicast routing protocol for mobile ad-hoc networks", International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'05), vol. 2, pp. 609-614, 2005, DOI: 10.1109/ITCC.2005.28

[ART43] J. Wang, L. Sun, X. Jiang and Z. Wu, "IGMP snooping: a VLAN-based multicast protocol", 5th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communication, pp. 335-340, 2002, DOI: 10.1109/HSNMC.2002.1032603

[ART44] K. Dalal and R. Metcalfe, "Reverse path forwarding of broadcast packets", Communications of the ACM, vol. 21, no. 12, pp. 1040–1048, 1978, DOI: 10.1145/359657.359665

[ART45] T. Hain, "A Pragmatic Report on IPv4 Address Space Consumption", The Internet Protocol Journal, vol. 8, no. 3, pp. 2-19, 2005

[ART46] I. van Beijnum, "IPv4 Address Space: 2.46 Billion Down, 1.25 Billion to Go", The Internet Protocol Journal, vol. 10, no. 3, pp. 22-28, 2007

[ART47] A. Atlasis, "Attacking ipv6 implementation using fragmentation", Blackhat europe, 2012.

[ART48] R. Rivest, A. Shamir, L. Adlema, "IA method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems", Communications of the ACM, vol. 21, no. 2, pp. 120–126, 1978, DOI: 10.1145/359340.359342

[ART49] D. Estrin, J. Mogul and G. Tsudik, "Visa protocols for controlling interorganizational datagram flow," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 7, no. 4, pp. 486-498, 1989, DOI: 10.1109/49.17712

ثانِياً: الكُتب

باللُّغة العربيَّة

[BKA01] "معجم الحاسبات"، الطبعة الثالثة،. القاهرة: مجمع اللغة العربية، 2003، ردمك: 7-8550-01-977.

[BKA02] م. البعلبكي ، ر. البعلبكي، "المورد الحديث"، بيروت: دار العلم للملايين، 2008.

[BKA03] "المعجم العربي الأساسي"، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، 2003.

[BKA04] ابن منظور، "لسان العرب"، دار المعارف، 1984، ردمك: 2-1105-02-977

[BKA05] ن. الحافظ، "مسرد مصطلحات المعلوماتية إنكليزي - عربي"، الجمعية العلمية السورية للمعلوماتية، 2007.

[BKA06] ع. شابسيغ، أ. الدكاك، ن. العوا، هـ. ورقوزق، "معجم مصطلحات الهندسة الكهربائية والإلكترونية والاتصالات"، دمشق: مجمع اللغة العربية، 2016.

[BKA07] م. بكني، "مذكرة في أصول تجزئة الشبكة"، 2019.

[BKA08] م. الرازي، "مختار الصحاح"، بيروت: مكتبة لبنان، 1986

باللُّغة الإنكليزيَّة

[BKE01] P. Dyson, "Dictionary of networking", San Francisco: Sybex, 1999. ISBN: 0-7821-2461-5

[BKE02] K. Fall and W. Stevens, "TCP/IP Illustrated Volume 1", 2ed edition, Boston: Pearson Education, Inc., 2012. ISBN: 0-321-33631-3

[BKE03] H.Thurston, "The number system", Mineola, N.Y: Dover Publications, 2007, ISBN: 0-486-45806-7

[BKE04] W. Quine, "Mathematical logic", Cambridge, MA: Harvard University Press, 1981, ISBN: 0-674-55451-5

[BKE05] Y. Wu and Chao, "Spanning trees and optimization problems", Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 2004, ISBN: 1-58488-436-3

[BKE06] F. Hwang, D. Richards and P. Winter, "The Steiner tree problem", Amsterdam New York: North-Holland, 1992, ISBN: 0-444-89098-X

[BKE07] M. Bakni, "Multidimensional cross-level tool for Wireless Sensor Networks constrained by energy", Ph.D. Thesis, University of Bordeaux, 2021, HAL ID: tel-03213899

باللُّغة الفرنسيَّة

[BKF01] P. Rolin et D. Michalowicz, "Réseaux locaux : normes et protocoles", Paris Londres: Hermès, 1988, 4th edition, ISBN: 2-86601-132-5

[BKF02] J. Abdel-Nour et S. Idriss, "Al-Manhal: Dictionnaire Francais-Arabe", 7eme Edition, Dār al-ʿIlm lil-Malāyīn, 1983

ثالِثاً: المعايير وأَدلة الاستعمال

[STD01] "ISO/IEC 7498-1:1994, Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model: The Basic Model", International Organization for Standardization (ISO), 1994

[STD02] "IEEE Standard for Information technology—Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks—Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Std 802.11-2016 (Revision of IEEE Std 802.11-2012), pp. 1-3534, 2016, DOI: 10.1109/IEEESTD.2016.7786995

[STD03] "IEEE Standard for Ethernet", IEEE Std 802.3-2018 (Revision of IEEE Std 802.3-2015), pp. 1-5600, 2018, DOI: 10.1109/IEEESTD.2018.8457469

[STD04] "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks: Overview and Architecture", IEEE Std 802-2014 (Revision to IEEE Std 802-2001), pp.1-74, 2014, DOI: 10.1109/IEEESTD.2014.6847097.

[STD05] "Catalyst 3750 Switch Software Configuration Guide", Cisco Systems, 2006, OL-8550-02

[STD06] "IP Multicast: PIM Configuration Guide, Cisco IOS Release 12.4T", Cisco Systems, 2012

[STD07] D. Raffo, "Linux Quick Reference Guide", Self-published, 8th edition, 2020

[STD08] J. Mueller, "Windows Command Line Administration: Instant Reference", Indianapolis: Wiley, 2010, ISBN: 978-0-470-65046-2

[STD09] "American Standard Code for Information Interchange", American Standards Association, X3.4-1963, 1963

[STD10] "Guidelines for Use of Extended Unique Identifier (EUI), Organizationally Unique Identifier (OUI) and Company ID (CID)", IEEE, 2017

[STD11] Cisco Systems Corporate Iconography, Cisco Systems, url: https://web.archive.org/web/20191117113033/https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac50/ac47/PDF_icons.zip, last visited: 25-11-2019, archive url: https://web.archive.org/web/20191117113033/https://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac50/ac47/PDF_icons.zip, archive date: 17-12-2019

رابِعاً: مُلاحظات تجارب الإنترنِت

[IEN02] J. Postel, "Comments on Internet Protocol and TCP", IEN 2, 1977

[IEN26] V. Cerf, "A Proposed New Internet Protocol Header Format", ARPA, IEN 26, 1978

[IEN46] V. Clark and D. Cohen "A Proposal for Addressing and Routing in the Internet", IEN 46, 1978

[IEN48] V. Cerf, "The Catenet Model for Internetworking", Information ProcessingTechniques Office, Defense Advanced Research Projects Agency, IEN 48, 1978.

خامِساً: وثائِق طَلب التَّعليقات

[RFC675] V. Cerf, Y. Dalal and C. Sunshine, "Specification of Internet Transmission Control Program", RFC 675, 1974, DOI: 10.17487/RFC0675

[RFC760] J. Postel, "DoD standard Internet Protocol", RFC 760, 1980, DOI: 10.17487/RFC0760

[RFC768] J. Postel, "User Datagram Protocol", STD 6, RFC 768, 1980, DOI: 10.17487/RFC0768

[RFC777] J. Postel, "Internet Control Message Protocol", RFC 777, 1981, DOI: 10.17487/RFC0777

[RFC778] D. Mills, "DCNET Internet Clock Service", RFC 778, 1981, DOI: 10.17487/RFC0778

[RFC791] J. Postel, "Internet Protocol", STD 5, RFC 791, 1981, DOI: 10.17487/RFC0791

[RFC792] J. Postel, "Internet Control Message Protocol", STD 5, RFC 792, 1981, DOI: 10.17487/RFC0792

[RFC793] J. Postel, "Transmission Control Protocol", STD 7, RFC 793, 1981, DOI: 10.17487/RFC0793

[RFC801] J. Postel, "NCP/TCP transition plan", RFC 801, 1981, DOI: 10.17487/RFC0801

[RFC815] D. Clark, "IP datagram reassembly algorithms", RFC 815, 1982, DOI: 10.17487/RFC0815

[RFC826] D. Plummer, "An Ethernet Address Resolution Protocol: Or Converting Network Protocol Addresses to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware", STD 37, RFC 826, 1982, DOI: 10.17487/RFC0826

[RFC903] R. Finlayson, T. Mann, J. Mogul and M. Theimer, "A Reverse Address Resolution Protocol", STD 38, RFC 903, 1984, DOI: 10.17487/RFC0903

[RFC917] J. Mogul, "Internet subnets", RFC 917, 1984, DOI: 10.17487/RFC0917

[RFC919] J. Mogul, "Broadcasting Internet Datagrams", STD 5, RFC 919, 1984, DOI: 10.17487/RFC0919

[RFC950] J. Mogul and J. Postel, "Internet Standard Subnetting Procedure", STD 5, RFC 950, 1985, DOI: 10.17487/RFC0950

[RFC959] J. Postel and J. Reynolds, "File Transfer Protocol", STD 9, RFC 959, 1985, DOI: 10.17487/RFC0959

[RFC1034] P. Mockapetris, "Domain names - concepts and facilities", STD 13, RFC 1034, 1987, DOI: 10.17487/RFC1034

[RFC1063] J. Mogul, C. Kent, C. Partridge and K. McCloghrie, "IP MTU discovery options", RFC 1063, 1988, DOI: 10.17487/RFC1063

[RFC1075] D. Waitzman, C.Partridge and S. Deering, "Distance Vector Multicast Routing Protocol", RFC 1075, 1988, DOI: 10.17487/RFC1075

[RFC1108] S. Kent, "U.S. Department of Defense Security Options for the Internet Protocol", RFC 1108, 1991, DOI: 10.17487/RFC1108

[RFC1112] S. Deering, "Host extensions for IP multicasting", STD 5, RFC 1112, 1989, DOI: 10.17487/RFC1112

[RFC1122] R. Braden, "Requirements for Internet Hosts - Communication Layers", STD 3, RFC 1122, 1989, DOI: 10.17487/RFC1122

[RFC1123] R. Braden, "Requirements for Internet Hosts - Application and Support", STD 3, RFC 1123, 1989, DOI: 10.17487/RFC1123

[RFC1136] S. Hares and D. Katz, "Administrative Domains and Routing Domains: A model for routing in the Internet", RFC 1136, 1989, DOI: 10.17487/RFC1136

[RFC1180] T. Socolofsky and C. Kale, "TCP/IP tutorial", RFC 1180, 1991, DOI: 10.17487/RFC1180

[RFC1256] S. Deering, "ICMP Router Discovery Messages", RFC 1256, 1991, DOI: 10.17487/RFC1256

[RFC1293] T. Bradley and C. Brown, "Inverse Address Resolution Protocol", RFC 1293, 1992, DOI: 10.17487/RFC1293

[RFC1338] V. Fuller, T. Li, J. Yu and K. Varadhan, "Supernetting: an Address Assignment and Aggregation Strategy", RFC 1338, 1992, DOI: 10.17487/RFC1338

[RFC1349] P. Almquist, "Type of Service in the Internet Protocol Suite", RFC 1349, 1992, DOI: 10.17487/RFC1349

[RFC1366] E. Gerich, "Guidelines for Management of IP Address Space", RFC 1366, 1992, DOI: 10.17487/RFC1366

[RFC1390] D. Katz, "Transmission of IP and ARP over FDDI Networks", STD 36, RFC 1390, 1993, DOI: 10.17487/RFC1390

[RFC1392] G. Malkin and T. LaQuey Parker, "Internet Users' Glossary", RFC 1392, 1993, DOI: 10.17487/RFC1392

[RFC1393] G. Malkin, "Traceroute Using an IP Option", RFC 1393, 1993, DOI: 10.17487/RFC1393

[RFC1469] T. Pusateri, "IP Multicast over Token-Ring Local Area Networks", RFC 1469, 1993, DOI: 10.17487/RFC1469

[RFC1475] R. Ullmann, "TP/IX: The Next Internet", 1993, RFC 1475, DOI: 10.17487/RFC1475

[RFC1517] R. Hinden, "Applicability Statement for the Implementation of Classless Inter-Domain Routing (CIDR)", RFC 1517, 1993, DOI: 10.17487/RFC1517

[RFC1518] Y. Rekhter and T. Li, "An Architecture for IP Address Allocation with CIDR", RFC 1518, 1993, DOI: 10.17487/RFC1518

[RFC1519] V. Fuller, T. Li, J. Yu and K. Varadhan, "Classless Inter-Domain Routing (CIDR): an Address Assignment and Aggregation Strategy", RFC 1519, 1993, DOI: 10.17487/RFC1519

[RFC1520] Y. Rekhter and C. Topolcic, "Exchanging Routing Information Across Provider Boundaries in the CIDR Environment", RFC 1520, 1993, DOI: 10.17487/RFC1520

[RFC1550] S. Bradner and A. Mankin, "IP: Next Generation (IPng) White Paper Solicitation", RFC 1550, 1993, DOI: 10.17487/RFC1550

[RFC1584] J. Moy, "Multicast Extensions to OSPF", RFC 1584, 1994, DOI: 10.17487/RFC1584

[RFC1594] A. Marine, J. Reynolds and G. Malkin, "FYI on Questions and Answers - Answers to Commonly asked "New Internet User" Questions", RFC 1594, 1994, DOI: 10.17487/RFC1594

[RFC1606] J. Onions, "A Historical Perspective On The Usage Of IP Version 9", RFC 1606, 1994, DOI: 10.17487/RFC1606

[RFC1631] K. Egevang and P. Francis, "The IP Network Address Translator (NAT)", RFC 1631, 1994, DOI: 10.17487/RFC1631

[RFC1661] W. Simpson, "The Point-to-Point Protocol (PPP)", STD 51, RFC 1661, 1994, DOI: 10.17487/RFC1661

[RFC1752] S. Bradner and A. Mankin, "The Recommendation for the IP Next Generation Protocol", RFC 1752, 1995, DOI: 10.17487/RFC1752

[RFC1770] C. Graff, "IPv4 Option for Sender Directed Multi-Destination Delivery", RFC 1770, 1995, DOI: 10.17487/RFC1770

[RFC1174] V. Cerf, "IAB recommended policy on distributing internet identifier assignment and IAB recommended policy change to internet "connected" status", RFC 1174, 1990, DOI: 10.17487/RFC1174

[RFC1788] W. Simpson, "ICMP Domain Name Messages", RFC 1788, 1995, DOI: 10.17487/RFC1788

[RFC1812] F. Baker, "Requirements for IP Version 4 Routers", RFC 1812, 1995, DOI: 10.17487/RFC1812

[RFC1817] Y. Rekhter, "CIDR and Classful Routing", RFC 1817, 1995, DOI: 10.17487/RFC1817

[RFC1819] L. Delgrossi and L. Berger, "Internet Stream Protocol Version 2 (ST2) Protocol Specification - Version ST2+", RFC 1819, 1995, DOI: 10.17487/RFC1819

[RFC1878] T. Pummill and B. Manning, "Variable Length Subnet Table For IPv4", RFC 1878, 1995, DOI: 10.17487/RFC1878

[RFC1883] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 1883, 1995, DOI: 10.17487/RFC1883

[RFC1884] R. Hinden and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture", RFC 1884, 1995, DOI: 10.17487/RFC1884

[RFC1885] A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6)", RFC 1885, 1995, DOI: 10.17487/RFC1885

[RFC1918] Y. Rekhter, B. Moskowitz, D. Karrenberg, G. de Groot and E. Lear, "Address Allocation for Private Internets", BCP 5, RFC 1918, 1996, DOI: 10.17487/RFC1918

[RFC1930] J. Hawkinson and T. Bates, "Guidelines for creation, selection and registration of an Autonomous System (AS)", BCP 6, RFC 1930, 1996, DOI: 10.17487/RFC1930

[RFC1923] J. Halpern and S. Bradner, "RIPv1 Applicability Statement for Historic Status", RFC 1923, 1996, DOI: 10.17487/RFC1923

[RFC1970] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 1970, 1996, DOI: 10.17487/RFC1970

[RFC1971] S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 1971, 1996, DOI: 10.17487/RFC1971

[RFC1981] J. McCann, S. Deering and J. Mogul, "Path MTU Discovery for IP version 6", RFC 1981, 1996, DOI: 10.17487/RFC1981

[RFC2113] D. Katz, "IP Router Alert Option", RFC 2113, 1997, DOI: 10.17487/RFC2113

[RFC2131] R. Droms, "Dynamic Host Configuration Protocol", RFC 2131, 1997, DOI: 10.17487/RFC2131

[RFC2189] A. Ballardie, "Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing -- Protocol Specification --", RFC 2189, 1997, DOI: 10.17487/RFC2189

[RFC2236] W. Fenner, "Internet Group Management Protocol, Version 2", RFC 2236, 1997, DOI: 10.17487/RFC2236

[RFC2328] J. Moy, "OSPF Version 2", STD 54, RFC 2328, 1998, DOI: 10.17487/RFC2328

[RFC2362] D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, C. Liu, P. Sharma and L. Wei, "Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification", RFC 2362, 1998, DOI: 10.17487/RFC2362

[RFC2390] T. Bradley, C. Brown and A. Malis, "Inverse Address Resolution Protocol", RFC 2390, 1998, DOI: 10.17487/RFC2390

[RFC2401] S. Kent and R. Atkinson, "Security Architecture for the Internet Protocol", RFC 2401, 1998, DOI: 10.17487/RFC2401

[RFC2402] S. Kent and R. Atkinson, "IP Authentication Header", RFC 2402, 1998, DOI: 10.17487/RFC2402

[RFC2406] S. Kent and R. Atkinson, "IP Encapsulating Security Payload (ESP)", RFC 2406, 1998, DOI: 10.17487/RFC2406

[RFC2408] D. Maughan, M. Schertler, M. Schneider and J. Turner, "Internet Security Association and Key Management Protocol (ISAKMP)", RFC 2408, 1998, DOI: 10.17487/RFC2408

[RFC2409] D. Harkins and D. Carrel, "The Internet Key Exchange (IKE)", RFC 2409, 1998, DOI: 10.17487/RFC2409

[RFC2453] G. Malkin, "RIP Version 2", STD 56, RFC 2453, 1998, DOI: 10.17487/RFC2453

[RFC2460] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2460, 1998, DOI: 10.17487/RFC2460

[RFC2461] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, 1998, DOI: 10.17487/RFC2461

[RFC2462] S. Thomson and T. Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 2462, 1998, DOI: 10.17487/RFC2462

[RFC2463] A. Conta and S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2463, 1998, DOI: 10.17487/RFC2463

[RFC2464] M. Crawford, "Transmission of IPv6 Packets over Ethernet Networks", RFC 2464, 1998, DOI: 10.17487/RFC2464

[RFC2474] K. Nichols, S. Blake, F. Baker and D. Black, "Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers", RFC 2474, 1998, DOI: 10.17487/RFC2474

[RFC2475] S. Blake, D. Black, M. Carlson, E. Davies, Z., Wang and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, 1998, DOI: 10.17487/RFC2475

[RFC2481] K. Ramakrishnan and S. Floyd, "A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", RFC 2481, 1999, DOI: 10.17487/RFC2481

[RFC2544] S. Bradner and J. McQuaid, "Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices", RFC 2544, 1999, DOI: 10.17487/RFC2544

[RFC2597] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss and J. Wroclawski, "Assured Forwarding PHB Group", RFC 2597, 1999, DOI: 10.17487/RFC2597

[RFC2644] D. Senie, "Changing the Default for Directed Broadcasts in Routers", BCP 34, RFC 2644, 1999, DOI: 10.17487/RFC2644

[RFC2661] W. Townsley, A. Valencia, A. Rubens, G. Pall, G. Zorn and B. Palter, "Layer Two Tunneling Protocol "L2TP"", RFC 2661, 1999, DOI: 10.17487/RFC2661

[RFC2663] P. Srisuresh and M. Holdrege, "IP Network Address Translator (NAT) Terminology and Considerations", RFC 2663, 1999, DOI: 10.17487/RFC2663

[RFC2675] D. Borman, S. Deering and R. Hinden, "IPv6 Jumbograms", RFC 2675, 1999, DOI: 10.17487/RFC2675

[RFC2710] S. Deering, W. Fenner and B. Haberman, "Multicast Listener Discovery (MLD) for IPv6", RFC 2710, 1999, DOI: 10.17487/RFC2710

[RFC2715] D. Thaler, "Interoperability Rules for Multicast Routing Protocols", RFC 2715, 1999, DOI: 10.17487/RFC2715

[RFC2780] S. Bradner and V. Paxson, "IANA Allocation Guidelines For Values In the Internet Protocol and Related Headers", BCP 37, RFC 2780, 2000, DOI: 10.17487/RFC2780

[RFC2894] M. Crawford, "Router Renumbering for IPv6", RFC 2894, 2000, DOI: 10.17487/RFC2894

[RFC2928] R. Hinden, S. Deering, R. Fink and T. Hain, "Initial IPv6 Sub-TLA ID Assignments", RFC 2928, 2000, DOI: 10.17487/RFC2928

[RFC2974] M. Handley, C. Perkins and E. Whelan, "Session Announcement Protocol", RFC 2974, 2000, DOI: 10.17487/RFC2974

[RFC3021] A. Retana, R. White, V. Fuller and D. McPherson, "Using 31-Bit Prefixes on IPv4 Point-to-Point Links", RFC 3021, 2000, DOI: 10.17487/RFC3021

[RFC3022] P. Srisuresh and K. Egevang, "Traditional IP Network Address Translator (Traditional NAT)", RFC 3022, 2001, DOI: 10.17487/RFC3022

[RFC3056] B. Carpenter and K. Moore, "Connection of IPv6 Domains via IPv4 Clouds", RFC 3056, 2001, DOI: 10.17487/RFC3056

[RFC3068] C. Huitema, "An Anycast Prefix for 6to4 Relay Routers", RFC 3068, 2001, DOI: 10.17487/RFC3068

[RFC3122] A. Conta, "Extensions to IPv6 Neighbor Discovery for Inverse Discovery Specification", 2001, RFC 3122, DOI: 10.17487/RFC3122

[RFC3128] I. Miller, "Protection Against a Variant of the Tiny Fragment Attack (RFC 1858)", RFC 3128, 2001, DOI: 10.17487/RFC3128

[RFC3168] K. Ramakrishnan, S. Floyd and D. Black, "The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", RFC 3168, 2001, DOI: 10.17487/RFC3168

[RFC3180] D. Meyer and P. Lothberg, "GLOP Addressing in 233/8", BCP 53, RFC 3180, 2001, DOI: 10.17487/RFC3180

[RFC3246] B. Davie, A. Charny, J. Bennet, K. Benson, J. Le Boudec, W. Courtney, S. Davari, V. Firoiu and D. Stiliadis, "An Expedited Forwarding PHB (Per-Hop Behavior)", RFC 3246, 2002, DOI: 10.17487/RFC3246

[RFC3306] B. Haberman and D. Thaler, "Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses", RFC 3306, 2002, DOI: 10.17487/RFC3306

[RFC3376] B. Cain, S. Deering, I. Kouvelas, B. Fenner and A. Thyagarajan, "Internet Group Management Protocol, Version 3", RFC 3376, 2002, DOI: 10.17487/RFC3376

[RFC3448] I. Wu and T. Eckert, "Cisco Systems Router-port Group Management Protocol (RGMP)", RFC 3488, 2003, DOI: 10.17487/RFC3488

[RFC3618] B. Fenner and D. Meyer, "Multicast Source Discovery Protocol (MSDP)", RFC 3618, 2003, DOI: 10.17487/RFC3618

[RFC3710] H. Alvestrand, "An IESG charter", RFC 3710, 2004, DOI: 10.17487/RFC3710

[RFC3724] J. Kempf and R. Austein and "The Rise of the Middle and the Future of End-to-End: Reflections on the Evolution of the Internet Architecture", RFC 3724, 2004, DOI: 10.17487/RFC3724

[RFC3756] P. Nikander, J. Kempf and E. Nordmark, "IPv6 Neighbor Discovery (ND) Trust Models and Threats", RFC 3756, 2004, DOI: 10.17487/RFC3756

[RFC3775] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, 2004, DOI: 10.17487/RFC3775

[RFC3789] P. Nesser and A. Bergstrom, "Introduction to the Survey of IPv4 Addresses in Currently Deployed IETF Standards Track and Experimental Documents", RFC 3789, 2004, DOI: 10.17487/RFC3789

[RFC3810] R. Vida and L. Costa, "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6", RFC 3810, 2004, DOI: 10.17487/RFC3810

[RFC3849] G. Huston, A. Lord and P. Smith, "IPv6 Address Prefix Reserved for Documentation", RFC 3849, 2004, DOI: 10.17487/RFC3849

[RFC3879] C. Huitema and B. Carpenter, "Deprecating Site Local Addresses", RFC 3879, 2004, DOI: 10.17487/RFC3879

[RFC3927] S. Cheshire, B. Aboba and E. Guttman, "Dynamic Configuration of IPv4 Link-Local Addresses", RFC 3927, 2005, DOI: 10.17487/RFC3927

[RFC3971] J. Arkko, J. Kempf, B. Zill and P. Nikander, "SEcure Neighbor Discovery (SEND)", RFC 3971, 2005, DOI: 10.17487/RFC3971

[RFC3973] A. Adams, J. Nicholas and W. Siadak, "Protocol Independent Multicast - Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification (Revised)", RFC 3973, 2005, DOI: 10.17487/RFC3973

[RFC4116] J. Abley, K. Lindqvist, E. Davies, B. Black and V. Gill, "IPv4 Multihoming Practices and Limitations", RFC 4116, 2005, DOI: 10.17487/RFC4116

[RFC4193] R. Hinden and B. Haberman, "Unique Local IPv6 Unicast Addresses", RFC 4193, 2005, DOI: 10.17487/RFC4193

[RFC4271] Y. Rekhter, T. Li and S. Hares, "A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", RFC 4271, 2006, DOI: 10.17487/RFC4271

[RFC4291] R. Hinden and S. Deering, "IP Version 6 Addressing Architecture", RFC 4291, 2006, DOI: 10.17487/RFC4291

[RFC4302] S. Kent, "IP Authentication Header", RFC 4302, 2005, DOI: 10.17487/RFC4302

[RFC4303] S. Kent, "IP Encapsulating Security Payload (ESP)", RFC 4303, 2005, DOI: 10.17487/RFC4303

[RFC4340] E. Kohler, M. Handley and S. Floyd, "Datagram Congestion Control Protocol (DCCP)", RFC 4340, 2006, DOI: 10.17487/RFC4340

[RFC4380] C. Huitema, "Teredo: Tunneling IPv6 over UDP through Network Address Translations (NATs)", RFC 4380, 2006, DOI: 10.17487/RFC4380

[RFC4443] A. Conta, S. Deering and M. Gupta, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification", STD 89, RFC 4443, 2006, DOI: 10.17487/RFC4443

[RFC4541] M. Christensen, K. Kimball and F. Solensky, "Considerations for Internet Group Management Protocol (IGMP) and Multicast Listener Discovery (MLD) Snooping Switches", RFC 4541, 2006, DOI: 10.17487/RFC4541

[RFC4594] J. Babiarz, K. Chan and F. Baker, "Configuration Guidelines for DiffServ Service Classes", RFC 4594, 2006, DOI: 10.17487/RFC4594

[RFC4607] H. Holbrook and B. Cain, "Source-Specific Multicast for IP", RFC 4607, 2006, DOI: 10.17487/RFC4607

[RFC4620] M. Crawford and B. Haberman, "IPv6 Node Information Queries", RFC 4620, 2006, DOI: 10.17487/RFC4620

[RFC4632] V. Fuller and T. Li, "Classless Inter-domain Routing (CIDR): The Internet Address Assignment and Aggregation Plan", BCP 122, RFC 4632, 2006, DOI: 10.17487/RFC4632

[RFC4727] B. Fenner, "Experimental Values In IPv4, IPv6, ICMPv4, ICMPv6, UDP and TCP Headers", RFC 4727, 2006, DOI: 10.17487/RFC4727

[RFC4760] T. Bates, R. Chandra, D. Katz and Y. Rekhter, "Multiprotocol Extensions for BGP-4", RFC 4760, 2007, DOI: 10.17487/RFC4760

[RFC4782] S. Floyd, M. Allman, A. Jain and P. Sarolahti, "Quick-Start for TCP and IP", RFC 4782, 2007, DOI: 10.17487/RFC4782

[RFC4787] F. Audet and C. Jennings, "Network Address Translation (NAT) Behavioral Requirements for Unicast UDP", BCP 127, RFC 4787, 2007, DOI: 10.17487/RFC4787

[RFC4843] P. Nikander, J. Laganier and F. Dupont, "An IPv6 Prefix for Overlay Routable Cryptographic Hash Identifiers (ORCHID)", RFC 4843, 2007, DOI: 10.17487/RFC4843

[RFC4861] T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson and H. Soliman, "Neighbor Discovery for IP version 6 (IPv6)", RFC 4861, 2007, DOI: 10.17487/RFC4861

[RFC4862] S. Thomson, T. Narten and T. Jinmei, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration", RFC 4862, 2007, DOI: 10.17487/RFC4862

[RFC4924] B. Aboba and E. Davies, "Reflections on Internet Transparency", RFC 4924, 2007, DOI: 10.17487/RFC4924

[RFC4960] R. Stewart, "Stream Control Transmission Protocol", RFC 4960, 2007, DOI: 10.17487/RFC4960

[RFC5015] M. Handley, I. Kouvelas, T. Speakman and L. Vicisano, "Bidirectional Protocol Independent Multicast (BIDIR-PIM)", RFC 5015, 2007, DOI: 10.17487/RFC5015

[RFC5095] J. Abley, P. Savola and G. Neville-Neil, "Deprecation of Type 0 Routing Headers in IPv6", RFC 5095, 2007, DOI: 10.17487/RFC5095

[RFC5110] P. Savola, "Overview of the Internet Multicast Routing Architecture", RFC 5110, 2008, DOI: 10.17487/RFC5110

[RFC5180] C. Popoviciu, A. Hamza, , G. Van de Velde and D. Dugatkin, "IPv6 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices", RFC 5180, 2008, DOI: 10.17487/RFC5180

[RFC5321] J. Klensin, "Simple Mail Transfer Protocol", RFC 5321, 2008, DOI: 10.17487/RFC5321

[RFC5342] D. Eastlake, "IANA Considerations and IETF Protocol Usage for IEEE 802 Parameters", RFC 5342, 2008, DOI: 10.17487/RFC5342

[RFC5382] S. Guha, K. Biswas, B. Ford, S. Sivakumar and P. Srisuresh, "NAT Behavioral Requirements for TCP", BCP 142, RFC 5382, 2008, DOI: 10.17487/RFC5382

[RFC5389] J. Rosenberg, R. Mahy, P. Matthews and D. Wing, "Session Traversal Utilities for NAT (STUN)", RFC 5389, 2008, DOI: 10.17487/RFC5389

[RFC5508] P. Srisuresh, B. Ford, S. Sivakumar and S. Guha, "NAT Behavioral Requirements for ICMP", BCP 148, RFC 5508, 2009, DOI: 10.17487/RFC5508

[RFC5597] R. Denis-Courmont, "Network Address Translation (NAT) Behavioral Requirements for the Datagram Congestion Control Protocol", BCP 150, RFC 5597, 2009, DOI: 10.17487/RFC5597

[RFC5722] S. Krishnan, "Handling of Overlapping IPv6 Fragments", RFC 5722, 2009, DOI: 10.17487/RFC5722

[RFC5737] J. Arkko, M. Cotton and L. Vegoda, "IPv4 Address Blocks Reserved for Documentation", RFC 5737, 2010, DOI: 10.17487/RFC5737

[RFC5766] R. Mahy, P. Matthews and J. Rosenberg, "Traversal Using Relays around NAT (TURN): Relay Extensions to Session Traversal Utilities for NAT (STUN)", RFC 5766, 2010, DOI: 10.17487/RFC5766

[RFC5771] M. Cotton, L. Vegoda and D. Meyer, "IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments", BCP 51, RFC 5771, 2010, DOI: 10.17487/RFC5771

[RFC5902] D. Thaler, L. Zhang and G. Lebovitz, "IAB Thoughts on IPv6 Network Address Translation", RFC 5902, 2010, DOI: 10.17487/RFC5902

[RFC5927] F. Gont, "ICMP Attacks against TCP", RFC 5927, 2010, DOI: 10.17487/RFC5927

[RFC5952] S. Kawamura and M. Kawashima, "A Recommendation for IPv6 Address Text Representation", RFC 5952, 2010, DOI: 10.17487/RFC5952

[RFC6037] E. Rosen, Y. Cai and IJ. Wijnands, "Cisco Systems' Solution for Multicast in BGP/MPLS IP VPNs", RFC 6037, 2010, DOI: 10.17487/RFC6037

[RFC6052] C. Bao, C. Huitema, M. Bagnulo, M. Boucadair and X. Li, "IPv6 Addressing of IPv4/IPv6 Translators", RFC 6052, 2010, DOI: 10.17487/RFC6052

[RFC6274] F. Gont, "Security Assessment of the Internet Protocol Version 4", RFC 6274, 2011, DOI: 10.17487/RFC6274

[RFC6275] C. Perkins, D. Johnson and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 6275, 2011, DOI: 10.17487/RFC6275

[**RFC6296**] M. Wasserman and F. Baker, "IPv6-to-IPv6 Network Prefix Translation", RFC 6296, 2011, DOI: 10.17487/RFC6296

[RFC6308] P. Savola, "RFC 6308, Overview of the Internet Multicast Addressing Architecture", RFC 6308, 2011, DOI: 10.17487/RFC6308.

[RFC6333] A. Durand, R. Droms, J. Woodyatt and Y. Lee, "Dual-Stack Lite Broadband Deployments Following IPv4 Exhaustion", RFC 6333, 2011, DOI: 10.17487/RFC6333

[RFC6437] S. Amante, B. Carpenter, S. Jiang and J. Rajahalme, "IPv6 Flow Label Specification", RFC 6437, 2011, DOI: 10.17487/RFC6437

[RFC6494] R. Gagliano, S. Krishnan and A. Kukec, "Certificate Profile and Certificate Management for SEcure Neighbor Discovery (SEND)", RFC 6494, 2012, DOI: 10.17487/RFC6494

[RFC6495] R. Gagliano, S. Krishnan and A. Kukec, "Subject Key Identifier (SKI) SEcure Neighbor Discovery (SEND) Name Type Fields", RFC 6495, 2012, DOI: 10.17487/RFC6495

[RFC6550] T. Winter, P. Thubert, A. Brandt, J. Hui, R. Kelsey, P. Levis, K. Pister, R. Struik, J. Vasseur and R. Alexander, "RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks", RFC 6550, 2012, DOI: 10.17487/RFC6550

[RFC6551] J. Vasseur, M. Kim, K. Pister, N. Dejean and D. Barthel, "Routing Metrics Used for Path Calculation in Low-Power and Lossy Networks", RFC 6551, 2012, DOI: 10.17487/RFC6551

[RFC6598] J. Weil, V. Kuarsingh, C. Donley, C. Liljenstolpe and M. Azinger, "IANA-Reserved IPv4 Prefix for Shared Address Space", BCP 153, RFC 6598, 2012, DOI: 10.17487/RFC6598

[RFC6633] F. Gont, "Deprecation of ICMP Source Quench Messages", RFC 6633, 2012, DOI: 10.17487/RFC6633

[RFC6666] N. Hilliard and D. Freedman, "A Discard Prefix for IPv6", RFC 6666, 2012, DOI: 10.17487/RFC6666

[RFC6814] C. Pignataro and F. Gont, "Formally Deprecating Some IPv4 Options", RFC 6814, 2012, DOI: 10.17487/RFC6814

[RFC6864] J. Touch, "Updated Specification of the IPv4 ID Field", RFC 6864, 2013, DOI: 10.17487/RFC6864

[RFC6890] M. Cotton, L. Vegoda, R. Bonica and B. Haberman, "Special-Purpose IP Address Registries", BCP 153, RFC 2013, 2013, DOI: 10.17487/RFC6890

[RFC6918] F. Gont and C. Pignataro, "Formally Deprecating Some ICMPv4 Message Types", RFC 6918, 2013, DOI: 10.17487/RFC6918

[**RFC6946**] F. Gont, "Processing of IPv6 "Atomic" Fragments", RFC 6946, 2013, DOI: 10.17487/RFC6946

[RFC7020] R. Housley, J. Curran, G. Huston and D. Conrad, "The Internet Numbers Registry System", RFC 7020, 2013, DOI: 10.17487/RFC7020

[RFC7112] F. Gont, V. Manral and R. Bonica, "Implications of Oversized IPv6 Header Chains", RFC 7112, 2014, DOI: 10.17487/RFC7112

[RFC7217] F. Gont, "A Method for Generating Semantically Opaque Interface Identifiers with IPv6 Stateless Address Autoconfiguration (SLAAC)", RFC 7217, 2014, DOI: 10.17487/RFC7217

[RFC7343] J. Laganier and F. Dupont, "An IPv6 Prefix for Overlay Routable Cryptographic Hash Identifiers Version 2 (ORCHIDv2)", RFC 7343, 2014, DOI: 10.17487/RFC7343

[RFC7346] R. Droms, "IPv6 Multicast Address Scopes", RFC 7346, 2014, DOI: 10.17487/RFC7346

[RFC7371] M. Boucadair and S. Venaas, "Updates to the IPv6 Multicast Addressing Architecture", RFC 7371, 2014, DOI: 10.17487/RFC7371

[RFC7401] R. Moskowitz, T. Heer, P. Jokela and T. Henderson, "Host Identity Protocol Version 2 (HIPv2)", RFC 7401, 2015, DOI: 10.17487/RFC7401

[RFC7450] G. Bumgardner, "Automatic Multicast Tunneling", RFC 7450, 2015, DOI: 10.17487/RFC7450

[RFC7529] C. Daboo and G. Yakushev, "Non-Gregorian Recurrence Rules in the Internet Calendaring and Scheduling Core Object Specification (iCalendar)", RFC 7529, 2015, DOI: 10.17487/RFC7529

[RFC7535] J. Abley, B. Dickson, W. Kumari and G. Michaelson, "AS112 Redirection Using DNAME", RFC 7535, 2015, DOI: 10.17487/RFC7535

[RFC7723] S. Kiesel and R. Penno, "Port Control Protocol (PCP) Anycast Addresses", RFC 7723, 2016, DOI: 10.17487/RFC7723

[RFC7739] F. Gont, "Security Implications of Predictable Fragment Identification Values", RFC 7739, 2016, DOI: 10.17487/RFC7739

[RFC7761] B. Fenner, M. Handley, H. Holbrook, I. Kouvelas, R. Parekh, Z. Zhang and L. Zheng, "Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification (Revised)", STD 83, RFC 7761, 2016, DOI: 10.17487/RFC7761

[RFC7868] D. Savage, J. Ng, S. Moore, D. Slice, P. Paluch and R. White, "Cisco's Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (EIGRP)", RFC 7868, 2016, DOI: 10.17487/RFC7868

[RFC8085] L. Eggert, G. Fairhurst and G. Shepherd, "UDP Usage Guidelines", BCP 145, RFC 8085, 2017, DOI: 10.17487/RFC8085

[RFC8155] P. Patil, T. Reddy and D. Wing, "Traversal Using Relays around NAT (TURN) Server Auto Discovery", RFC 8155, 2017, DOI: 10.17487/RFC8155

[RFC8200] S. Deering and R. Hinden, "Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification", STD 86, RFC 8200, 2017, DOI: 10.17487/RFC8200

[RFC8201] J. McCann, S. Deering, J. Mogul and R. Hinden, "Path MTU Discovery for IP version 6", STD 87, RFC 8201, 2017, DOI: 10.17487/RFC8201

[RFC8335] R. Bonica, R. Thomas, J. Linkova, C. Lenart and M. Boucadair, "PROBE: A Utility for Probing Interfaces", RFC 8335, 2018, DOI: 10.17487/RFC8335

[RFC8550] J. Schaad, B. Ramsdell and S. Turner, "Secure/Multipurpose Internet Mail Extensions (S/MIME) Version 4.0 Certificate Handling", RFC 8550, 2019, DOI: 10.17487/RFC8550

[RFC8754] C. Filsfils, D. Dukes, S. Previdi, J. Leddy, S. Matsushima and D. Voyer, "IPv6 Segment Routing Header (SRH)", RFC 8754, 2020, DOI: 10.17487/RFC8754

[RFC8883] T. Herbert, "ICMPv6 Errors for Discarding Packets Due to Processing Limits", RFC 8883, 2020, DOI: 10.17487/RFC8883

سادِساً: مَواقِع الوِيب

[WEB01] "Version Numbers", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/version-numbers/version-numbers.xhtml, last visited: 20-01-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190118144623/https://www.iana.org/assignments/version-numbers/version-numbers.xhtml, archive date: 18-01-2019.

[WEB02] "Internet Protocol Version 4 (IPv4) Parameters", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/ip-parameters/ip-parameters.xhtml, last visited: 12-02-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20191124154910/https://www.iana.org/assignments/ip-parameters/ip-parameters.xhtml, archive date: 24-11-2019

[WEB03] "IPv4 Multicast Address Space Registry", IANA, URL:https://www.iana.org/assignments/multicast-addresses/multicast-addresses.xhtml, last visited: 01-03-2021, archive URL:

https://web.archive.org/web/20210211072506/https://www.iana.org/assignments/multicast-addresses/multicast-addresses.xhtml, archive date: 11-02-2021

[WEB04] G. Huston, "Evaluating IPv4 and IPv6 Packet Fragmentation", RIPE NCC, 19-01-2016, URL: https://labs.ripe.net/Members/gih/evaluating-ipv4-and-ipv6-packet-fragmentation, last visited: 08-03-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20180425142248/https://labs.ripe.net/Members/gih/evaluating-ipv4-and-ipv6-packet-fragmentation, archive date: 25-04-2018

[WEB05] "Protocol Numbers", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/protocol-numbers/protocol-numbers.xhtml, last visited: 08-03-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20210121015420/https://www.iana.org/assignments/protocol-numbers/protocol-numbers.xhtml, archive date: 21-01-2021

[WEB06] "Available Pool of Unallocated IPv4 Internet Addresses Now Completely Emptied", ICANN, 03-02-2011, URL: https://www.icann.org/en/system/files/press-materials/release-03feb11-en.pdf, last visited: 09-03-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190920183506/https://www.icann.org/en/system/files/press-materials/release-03feb11-en.pdf, archive date: 20-09-2018

[WEB07] "AAS4637 BGP Routing Table Analysis Report", bgp.potaroo, 07-06-2007, URL: http://bgp.potaroo.net/as4637/, last visited: 06-04-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20180529103429/http://bgp.potaroo.net/as4637/, archive date: 29-05-2018

[WEB08] D. Farinacci and A.Tweedly "Cisco Group Management Protocol (CGMP)", ipsyn.net, 14-08-1996, URL: http://ftp.ipsyn.net/pub/mirrors/cisco/ftpeng.cisco.com/ipmulticast/specs/cgmp.txt, last visited: 29-11-2014, archive URL: https://web.archive.org/web/20141129171936/http://ftp.ipsyn.net/pub/mirrors/cisco/ftpeng.cisco.com/ipmulticast/specs/cgmp.txt, archive date: 29-11-2014

[WEB09] D. Estrin and D. Farinacci,"Bi-Directional Shared Trees in PIM-SM", Network Working Group, ietf.org, 17-05-1999, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-farinacci-bidir-pim, last visited: 11-05-2021, archive URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-farinacci-bidir-pim, archive date: 06-01-2019

[WEB10] A. Ballardie, B. Cain and Z. Zhang "Core Based Trees (CBT version 3) Multicast Routing -- Protocol Specification --", IETF, 1998, URL: https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-idmr-cbt-spec-v3-01, last visited: 04-05-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20181227035628/https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-idmr-cbt-spec-v3-01, archive date: 27-12-2018

[WEB11] "Service Name and Transport Protocol Port Number Registry", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.txt, last visited: 04-05-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20210502115133/https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.txt, archive date: 02-05-2021

[WEB12] "The Research Interests of MIKE MUUSS", Army Research Laboratory (ARL), URL: https://ftp.arl.army.mil/~mike/, last visited: 19-06-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20210114215035/https://ftp.arl.army.mil/~mike/, archive date: 14-01-2021

[WEB13] "Internet Control Message Protocol (ICMP) Parameters", IANA, URL: http://www.iana.org/assignments/icmp-parameters/icmp-parameters.xhtml, last visited: 21-06-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20200326080414/http://www.iana.org/assignments/icmp-parameters/icmp-parameters.xhtml, archive date: 26-03-2021

[WEB14] "Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Policy For Allocation of IPv4 Blocks to Regional Internet Registries", ICANN, URL: https://www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv4-rirs-2012-02-25-en, last visited: 09-08-2021, archive URL:

https://web.archive.org/web/20191106215243/https:/www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv4-rirs-2012-02-25-en, archive date: 06-11-2019

[WEB15] "Global Policy Proposal for Remaining IPv4 Address Space – Background Report", ICANN, URL: https://www.icann.org/resources/pages/proposal-ipv4-report-2007-11-29-en, last visited: 09-08-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20191106115703/https:/www.icann.org/resources/pages/proposal-ipv4-report-2007-11-29-en, archive date: 06-11-2019

[WEB16] "Global Policy for the Allocation of the Remaining IPv4 Address Space | (ratified by ICANN Board on 6 March 2009)", ICANN, URL: https://www.icann.org/resources/pages/remaining-ipv4-2012-02-25-en, last visited: 09-08-2021, archive URL:https://web.archive.org/web/20191115211139/https:/www.icann.org/resources/pages/remaining-ipv4-2012-02-25-en, archive date: 15-11-2019

[WEB17] "Free Pool of IPv4 Address Space Depleted", NRO, 03-02-2011, URL: https://www.nro.net/ipv4-free-pool-depleted, last visited: 10-08-2021, archive URL:https://web.archive.org/web/20200305002101/https:/www.nro.net/ipv4-free-pool-depleted, archive date: 05-03-2020

[WEB18] "IANA IPv4 Address Space Registry", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/ipv4-address-space/ipv4-address-space.txt, last visited: 10-08-2021, archive URL:https://web.archive.org/web/20190705212510/https:/www.iana.org/assignments/ipv4-address-space/ipv4-address-space.txt, archive date: 05-07-2019

[WEB19] "APNIC IPv4 Address Pool Reaches Final /8", APNIC, 15-04-2011, URL: http://www.apnic.net/publications/news/2011/final-8, last visited: 15-04-2011, archive URL:https://web.archive.org/web/20110418185322/http:/www.apnic.net/publications/news/2011/final-8, archive date: 18-11-2011

[WEB20] P. Smith, J. Martin and R. Bush, "prop-062-v002: Use of final /8", APNIC, 28-08-2008, URL: https://www.apnic.net/wp-content/uploads/prop-

062/assets/prop-062-v002.txt, last visited: 10-08-2021, archive URL:https://web.archive.org/web/20200101192844/https:/www.apnic.net/wp-content/uploads/prop-062/assets/prop-062-v002.txt, archive date: 01-01-2020

[WEB21] "RIPE NCC Begins to Allocate IPv4 Address Space From the Last /8", RIPE NCC, 14-09-2012, URL: https://www.ripe.net/publications/news/announcements/ripe-ncc-begins-to-allocate-ipv4-address-space-from-the-last-8, last visited: 10-08-2021, archive URL:https://web.archive.org/web/20190223035640/https:/www.ripe.net/publications/news/announcements/ripe-ncc-begins-to-allocate-ipv4-address-space-from-the-last-8, archive date: 10-08-2021

[WEB22] "L'IPv6 Suivi de l'épuisement des adresses IPv4", ARCEP, 05-12-2019, URL: https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-internet-et-numerique/lipv6/suivi-epuisement-adresses-ipv4.html, last visited: 10-08-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20200109205817/https:/www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-internet-et-numerique/lipv6/suivi-epuisement-adresses-ipv4.html, archive date: 09-01-2020

[WEB23] "No more IPv4 addresses in Latin America and the Caribbean", LACNIC, 10-06-2014, URL: https://www.lacnic.net/1532/2/lacnic/no-more-ipv4-addresses-in-latin-america-and-the-caribbean, last visited: 10-08-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190706142950/https:/www.lacnic.net/1532/2/lacnic/no-more-ipv4-addresses-in-latin-america-and-the-caribbean, archive date: 06-07-2019

[WEB24] "Remaining IPv4 Addresses to be Redistributed to Regional Internet Registries | Address Redistribution Signals that IPv4 is Nearing Total Exhaustion", ICANN, 20-05-2014, URL: https://www.icann.org/news/announcement-2-2014-05-20-en, last visited: 10-08-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190730032133/https://www.icann.org/news/announcement-2-2014-05-20-en, archive date: 10-08-2021

[WEB25] J. Curran, "ARIN IPv4 Free Pool Reaches Zero", ARIN, 24-09-2015, URL: https://www.arin.net/vault/announcements/2015/20150924.html, last visited: 10-08-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190706142951/https:/www.arin.net/vault/announcements/2015/20150924.html, archive date: 06-07-2019

[WEB26] "IPv4 Addressing Options", ARIN, URL: https://www.arin.net/resources/guide/ipv4/, last visited: 10-08-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190504080303/https:/www.arin.net/resources/guide/ipv4/, archive date: 04-05-2019

[WEB27] "AFRINIC Enters IPv4 Exhaustion Phase 1", AfriNIC, 03-04-2017, URL: http://www.afrinic.net/library/news/2053-afrinic-enters-ipv4-exhaustion-phase-1, last visited: 03-04-2017, archive URL: https://web.archive.org/web/20171013003610/http:/www.afrinic.net/library/news/2053-afrinic-enters-ipv4-exhaustion-phase-1, archive date: 13-10-2017

[WEB28] "Service Name and Transport Protocol Port Number Registry", IANA, URL:https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml, last visited: 08-09-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20180715035055/https:/www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.xhtml, archive date: 15-07-2018

[WEB29] R. Stewart, M. Tuexen and I. Ruengeler, "Stream Control Transmission Protocol (SCTP) Network Address Translation draft-ietf-behave-sctpnat-01.txt", IETF, 16-02-2009, URL: https://tools.ietf.org/id/draft-ietf-behave-sctpnat-01.html, last visited: 15-09-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20200402131543/https:/tools.ietf.org/id/draft-ietf-behave-sctpnat-01.html, archive date: 02-04-2020

[WEB30] "Internet Protocol Version 6 (IPv6) Parameters", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/ipv6-parameters/ipv6-parameters.xhtml, last visited: 07-10-2021, archive URL:

https://web.archive.org/web/20200507123543/https:/www.iana.org/assignments/ipv6-parameters/ipv6-parameters.xhtml, archive date: 07-05-2021

[WEB31] "IANA IPv6 Special-Purpose Address Registry", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xhtml, last visited: 07-10-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20200102182841/https:/www.iana.org/assignments/iana-ipv6-special-registry/iana-ipv6-special-registry.xhtml, archive date: 02-01-2020

[WEB32] "IPv6 Multicast Address Space Registry", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xhtml, last visited: 21-10-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20200507123528/https:/www.iana.org/assignments/ipv6-multicast-addresses/ipv6-multicast-addresses.xhtml, archive date: 07-05-2020

[WEB33] "Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Policy For Allocation of IPv6 Blocks to Regional Internet Registries | (Ratified 7 September 2006)", ICANN, 25-02-2012, URL: https://www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv6-rirs-2012-02-25-en, last visited: 21-10-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20200228010449/https:/www.icann.org/resources/pages/allocation-ipv6-rirs-2012-02-25-en, archive date: 28-02-2020

[WEB34] "IPv6 Global Unicast Address Assignments", IANA, 25-02-2012, URL: https://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml, last visited: 21-10-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20211005201223/http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments/ipv6-unicast-address-assignments.xml, archive date: 05-10-2021

[WEB35] "Understanding IP Addressing and CIDR Charts", RIPE NCC, 15-02-2020, URL: https://www.ripe.net/about-us/press-centre/understanding-ip-addressing, last visited: 21-10-2021, archive URL:

https://web.archive.org/web/20200215034209/https:/www.ripe.net/about-us/press-centre/understanding-ip-addressing, archive date: 15-02-2021

[WEB36] F. Gont, "Security Assessment of the IPv6 Flow Label", IETF, 12-03-2012, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-gont-6man-flowlabel-security, last visited: 22-10-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190928182425/https:/datatracker.ietf.org/doc/html/draft-gont-6man-flowlabel-security, archive date: 28-09-2019

[WEB37] "Internet Control Message Protocol version 6 (ICMPv6) Parameters", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xhtml, last visited: 28-11-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20210729152603/https:/www.iana.org/assignments/icmpv6-parameters/icmpv6-parameters.xhtml, archive date: 29-07-2021

[WEB38] W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- ICMP Message Formats draft-simpson-ipv6-discov-formats-00.txt", IETF, 1994, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-00, last visited: 28-12-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20211222205237/https:/datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-00, archive date: 22-12-2021

[WEB39] W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- Processing draft-simpson-ipv6-discov-process-00.txt", IETF, 1994, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-00, last visited: 28-12-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20211222204823/https:/datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-00, archive date: 22-12-2021

[WEB40] W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- ICMP Message Formats draft-simpson-ipv6-discov-formats-02.txt", IETF, 1995, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-02, last visited: 28-12-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20211222204823/https:/datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-02, archive date: 22-12-2021

[WEB41] W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery -- Processing draft-simpson-ipv6-discov-process-02.txt", IETF, 1995, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-02, last visited: 28-12-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20211222205331/https:/datatracker.ietf.org/doc/html/draft-simpson-ipv6-discov-process-02, archive date: 22-12-2021

[WEB42] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery <draft-ietf-ipngwg-discovery-00.txt>", IETF, 1995, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-00, last visited: 28-12-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20211222204841/https:/datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-00, archive date: 22-12-2021

[WEB43] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "IPv6 Neighbor Discovery <draft-ietf-ipngwg-discovery-06.txt>", IETF, 1996, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-06, last visited: 28-12-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20211222210002/https:/datatracker.ietf.org/doc/html/draft-ietf-ipngwg-discovery-06, archive date: 22-12-2021

[WEB44] “COMMERCIAL IP SECURITY OPTION (CIPSO 2.2)”, IETF CIPSO Working Group, 16-07-1992, URL: https://www.ietf.org/archive/id/draft-ietf-cipso-ipsecurity-01.txt, last visited: 7-2-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20180919032815/https://www.ietf.org/archive/id/draft-ietf-cipso-ipsecurity-01.txt, archive date: 19-09-2018.

[WEB45] E. Deborah and D. Farinacci, "Bi-Directional Shared Trees in PIM-SM", 17-05-1999, URL:https://tools.ietf.org/html/draft-farinacci-bidir-pim-01, last visited: 20-02-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190807153459/https://tools.ietf.org/html/draft-farinacci-bidir-pim-01, archive date: 07-08-2019

[WEB46] "IANA IPv4 Special-Purpose Address Registry", IANA, URL: https://www.iana.org/assignments/iana-ipv4-special-registry/iana-ipv4-special-registry.xhtml, last visited: 04-03-2021, archive URL:

https://web.archive.org/web/20210225065743/https://www.iana.org/assignments/iana-ipv4-special-registry/iana-ipv4-special-registry.xhtml, archive date: 25-02-2021

[WEB47] D. Johnson, "Transparent Internet Routing for IP Mobile Hosts", Rice University, 11-07-1993, URL: https://www.cs.rice.edu/~dbj/pubs/cmu-mobile.txt, last visited: 12 July 2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20160405084117/https://www.cs.rice.edu/~dbj/pubs/cmu-mobile.txt, archive date: 05 -4- 2016

[WEB48] W. Simpson, " IPv6 Neighbor Discovery -- ICMP Message Formats", IETF, January 1995, URL: https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-02, last visited: 12-07-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20190928201912/https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-discov-formats-02, archive date: 28-09-2019

[WEB49] W. Simpson, "IPv6 Mobility Support", IETF, November 1994, URL: https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-mobility-00, last visited: 12-07-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20200110205314/https://tools.ietf.org/html/draft-simpson-ipv6-mobility-00, archive date: 10-01-2020

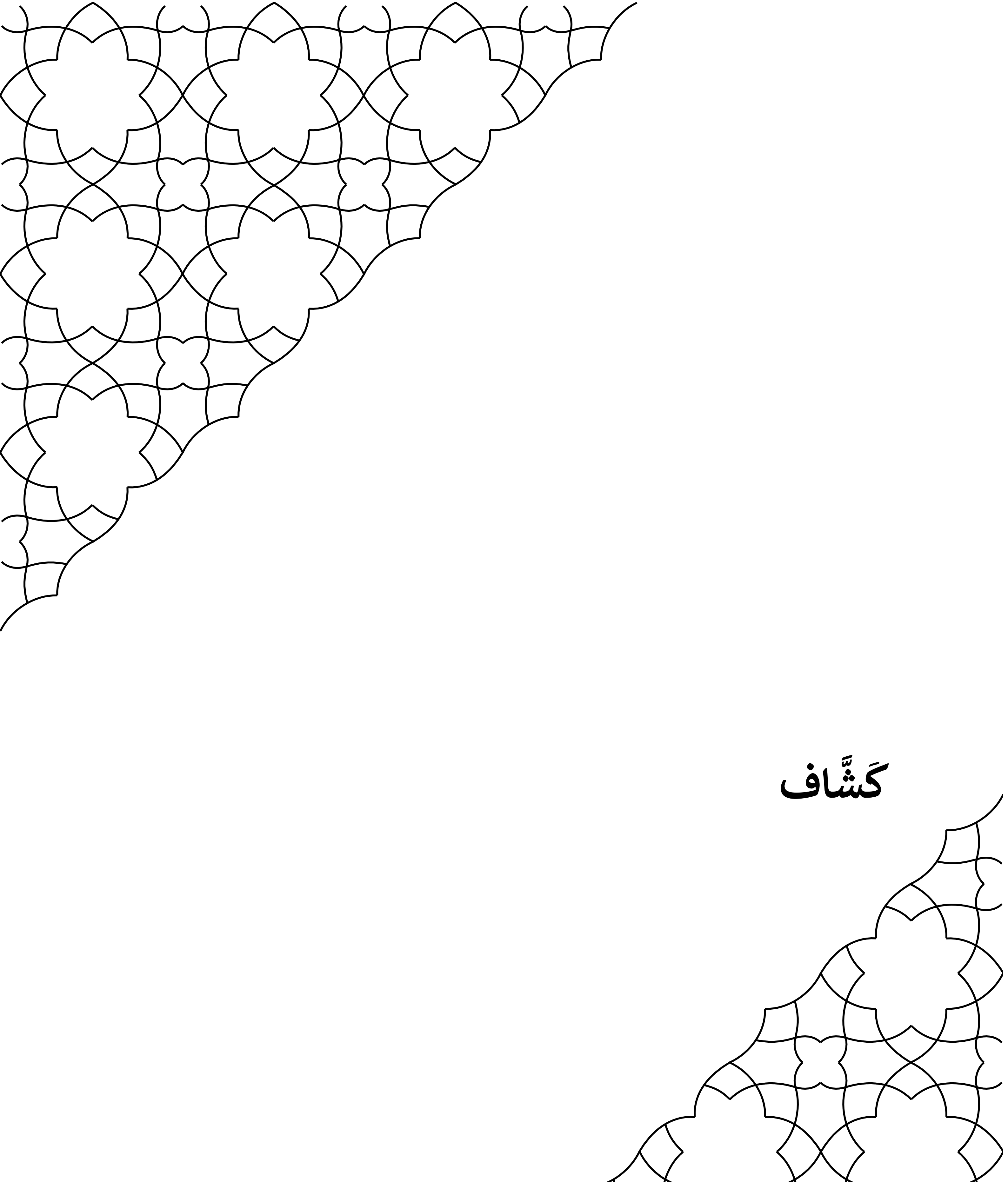
[WEB50] A. Aziz, "Simple Key-Management For Internet Protocols (SKIP)", IETF, 21-12-1995, URL: https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-06, last visited: 12-07-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20181227062701/https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-06, archive date: 27-12-2018

[WEB51] A. Aziz, "SKIP Algorithm Discovery Protocol", IETF, 21-12-1995, URL: https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-adp-00, last visited: 12-07-2021, archive URL: https://web.archive.org/web/20181227062740/https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-ipsec-skip-adp-00, archive date: 27-12-2018

[WEB52] P. Nikander, D. Harkins, B. Patil, P. Roberts, E. Nordmark, T. Narten and A. Mankin, "Threat Models introduced by Mobile IPv6 and Requirements for

Security in Mobile IPv6 <draft-ietf-mobileip-mipv6-scrty-reqts-00.txt>", IETF, 24-09-2001, URL: https://datatracker.ietf.org/doc/html///draft-ietf-mobileip-mipv6-scrty-reqts-00.txt, last visited: 14-01-2022, archive URL: https://web.archive.org/web/20211220114822/https://datatracker.ietf.org/doc/html///draft-ietf-mobileip-mipv6-scrty-reqts-00.txt, archive date: 22-11-2021

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب



كَشَّاف

أَوَّلاً: أعلام

ثانياً: مُؤَسسات وكِيانات

ثالِثاً: برُوتُوكُولات

رابِعاً: مفاهيمُ وتقنيَّات

خامِساً: مُدن ودُول

عن المُؤَلِّف



نال مِيشِيل بَكنِي شهادة البَكَالُوريُوس في هندسة الاتِّصالات والإلكترونيَّات مِن جامِعة تشرين في سُوريَّة عام 2013م، وأَكمل دراسته العُليا في جامعة بِلفُور ومونبليار لِلتَّقانة في فرنسة حيث حَصَل على درجة الماجستير عام 2017م باختصاص الشَّبكات المُوزَّعة المُتحرِّكة، ثُمَّ حَصَل على درجة الفلسفة في الهندسة الإلكترونيَّة مِن جامِعة بُوردُو. تَتَمحور مَوضُوعات أَبحاثه حول التَّشبيك وشَبكات المُستشعِرات اللاسلكيَّة واستهلاك الطَّاقة فيها وتحسينها.

About the author

Michel Bakni received the B.S. degree in telecommunication and electronics from Tishreen University, Syria, in 2013 and the M.S. degree from UTBM (French: Université de Technologie de Belfort-Montbéliard), France, in 2017, in mobile and distributed networks. In 2021, He received a Ph.D. degree in electronics from the doctoral school of the University of Bordeaux. His research interests include networking, wireless sensor networks, and energy consumption optimization.

مِن مُؤَلَّفاته:

- باللُّغة العربيَّة:
  - مذكرة في أصول تجزئة الشبكة
  - الترانزستور ثنائي القطب: القواعد والفوائد (ISBN: 978-2-95-768870-8).
- باللُّغة الإنكليزيَّة:
  - Huawei HCIA-IoT v. 2.5 : Evaluation Questions (DOI: 10.6084/m9.figshare.14336687)

تُرِكت هذه الصَّفحة فارِغةً عَمداً لِغرض تنسيق الكِتاب

عن الكتاب

هذه رحلةٌ عبر خمسين عاماً مِن تاريخ الإنترنِت، يَبدأها الكِتاب بعَرض أُصول الشَّبكة ونمذجتها ووظيفة التَّشبيك فيها، ثُمَّ يَشرَح كيف طُوِّر برُوتُوكُول الإنترنِت فيها ولماذا، وما هي الوظائِف الَّتي يُؤدِّيها بالتَّحديد وما هي مُلحَقاته. تَخُوض الفُصُول بعد ذلك في مُشكِلة استنفاد فضاء عناوين الإصدار الرَّابِع مِن برُوتُوكُول الإنترنِت، وما هي الحُلُول الَّتي طُرِحت لِمُواجهتها، وُصُولاً إلى الإصدار السَّادِس مِن برُوتُوكُول الإنترنِت الَّذي يُمثِّل الحلَّ النِّهائِيَّ، وهُو مع مُلحَقاته مَوضُوع الباب الأَخير.



تصميم الغلاف: زينة خوري


ISBN 978-2-95-768871-5



